

BIM-Erweiterung durch Implementierung der Nutzung baustofftechnischer Daten von Straßen und Brücken im AMS BIM4AMS

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
D-A-CH Kooperation
Verkehrsinfrastrukturforschung
DACH 2019



Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)
Invalidenstraße 44
10115 Berlin
Deutschland



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Bundesministerium für Klimaschutz (BMK)
Radetzkystraße 2
1030 Wien
Österreich



Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Mühlestrasse 2, Ittigen
3003 Bern
Schweiz



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Strassen ASTRA

Für den Inhalt verantwortlich:

BIM4AMS Konsortium
Projektleitung: IMC GmbH
Bellerivestraße 209
CH-8008 Zürich



Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Thematische Programme
Sensengasse 1
1090 Wien
Österreich



BIM-Erweiterung durch Implementierung der Nutzung baustofftechnischer Daten von Straßen und Brücken im AMS

BIM4AMS

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
D-A-CH Kooperation
Verkehrsinfrastrukturforschung
DACH 2019

AutorInnen:

Prof. Dr. Rade HAJDIN

Dr. Tim BLUMENFELD

Arnór ELVARSSON

Dr. Karl GROSSAUER

Prof. Dr. Markus KÖNIG

Liu LIU

Georg PINTAR

Dr. Frank SCHIFFMANN

Prof. Dr. Markus STÖCKNER

Dr. Ute STÖCKNER



Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Deutschland

Bundesministerium für Klimaschutz, Österreich

Bundesamt für Strassen, Schweiz

Mitglieder der Begleitkommission:

Matthias Folly

Odilo Schoch

Yan Cerf

Oliver Ripke

Wolfgang Kluger-Eigl

Christoph Antony

Auftragnehmer:



**Infrastructure Management
Consultants**

Zürich (CH) und Mannheim (DE)



iC consulenten

Wien und Salzburg (AT)



**Steinbeis-Transferzentrum
Infrastrukturmanagement im
Verkehrswesen (IMV)**

Lehrstuhl für Informatik im

Bauwesen

Bochum (DE)

Steinbeis IMV

Karlsruhe (DE)

KURZFASSUNG

Building Information Modeling-Methoden werden bereits erfolgreich für die Planung und die Bauausführung im Bereich von Hochbau- und Infrastrukturprojekten eingesetzt. Digitale Gebäudemodelle (BIM) werden bei einer openBIM Umgebung auf Basis offener Standards, wie den Industry Foundation Classes (IFC) ausgetauscht und von verschiedenen Ingenieurdisziplinen aufgabenunabhängig genutzt. Für den Straßen- und Brückenbau werden derzeit verschiedene Erweiterungen der IFC entwickelt, um einen effizienten Datenaustausch zu ermöglichen. Der Einsatz von BIM im Betrieb über die Lebensdauer der Straßeninfrastruktur stand bisher noch nicht im Fokus, verspricht aber eine erhebliche Nutzensteigerung vor allem, nicht nur für die Straßenbauverwaltungen. Die für das Asset Management erforderliche Fortschreibung des Zustands und der Auswirkungen der Erhaltungsmaßnahmen gewinnt mit BIM einen Mehrnutzen v. a. durch die damit verbundenen, genauen geometrischen Informationen. Hierbei ist es notwendig, den bewährten Datenfluss der Asset-Management-Systeme durch BIM-Daten zu erweitern.

Im Rahmen des Forschungsprojektes BIM4AMS wurden die über die Lebensdauer der Straßenbefestigungen relevanten baustofftechnischen Daten in ein konsistentes und durchgängiges BIM-Konzept für das Asset Management der Straßeninfrastruktur nutzbringend und mit den bereits vorhandenen Asset Management Daten verknüpft.

Dazu wurde eine Methodik entwickelt und exemplarisch mit Hilfe eines IT-Prototyps getestet, wie relevante Informationen für die Beurteilung des Zustands in Lebensdauerbetrachtungen der Straßeninfrastruktur in Form von Informationscontainern nach ISO 21597 bereitgestellt und die Ergebnisse nachprüfbar abgefragt werden können. Zu diesem Zweck wurden drei relevante Anwendungsfälle identifiziert, bei denen ein Datenaustausch zwischen dem Infrastrukturbetreiber bzw. -eigentümer und externen Dienstleistern stattfindet. Für den Datenaustausch wurden Informationscontainer entwickelt, die die Ergebnisse von Zustandserfassungen und -bewertungen enthalten sowie den Datenaustausch zur Planung von Erhaltungsmaßnahmen und zu baustofftechnischen Daten ermöglichen. Es wurde unterschieden zwischen Informationen, die direkt in BIM-Modelle einfließen und solchen, die mit externen Datenquellen verknüpft sind. Weiterhin wird durch die erstellten Fallbeispiele gezeigt, wie mit semantischen Informationen und der geometrischen Darstellung umgegangen wird. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes tragen zu einer deutlichen Nutzensteigerung durch die Anwendung von BIM innerhalb des Asset Managements bei.



ABSTRACT

Building Information Modelling methods are already successfully used for planning and construction in the field of building construction and infrastructure projects. Digital building models (BIM) are exchanged in an openBIM environment based on open standards, such as the Industry Foundation Classes (IFC), and used by different engineering disciplines independent of the task. Various extensions to IFC are currently being developed for road and bridge construction to enable efficient data exchange. The use of BIM in operation over the lifetime of road infrastructure has not yet been a focus, but it promises a significant increase in benefits especially, not only, for road administrations. The updating of the condition and the effects of maintenance measures, which is necessary for asset management, gains added value with BIM, especially through the associated, precise geometric information. In this context, it is necessary to expand the proven data flow of the asset management systems with BIM data.

Within the framework of the BIM4AMS research project, the relevant construction material data over the service life of the road pavements were usefully integrated into a consistent and integrated BIM concept for the asset management of the road infrastructure and linked with the already existing asset management data.

For this purpose, a methodology was developed and exemplarily tested with the help of an IT prototype how relevant information for the assessment of the condition in life cycle assessments of the road infrastructure can be provided in the form of information containers according to ISO 21597 and how the results can be queried in a verifiable manner. For this purpose, three relevant use cases were identified in which data exchange takes place between the infrastructure manager or owner and external service providers. For the data exchange, information containers were developed that contain the results of condition surveys and assessments as well as enable the exchange of data for the planning of maintenance measures and for technical building material data. A distinction was made between information that flows directly into BIM models and that which is linked to external data sources. Furthermore, the case studies created show how semantic information and the geometric representation are handled. The results of this research project contribute to a significant increase in benefits through the application of BIM within asset management.



INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|-----------|
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 16 |
| TABELLENVERZEICHNIS | 22 |
| ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS | 24 |
| 1 EINLEITUNG..... | 26 |
| 1.1 Allgemeines | 26 |
| 1.2 Problemstellung | 26 |
| 1.3 Projektziele | 28 |
| 1.4 Nutzen | 29 |
| 1.5 Aufbau des Berichts..... | 29 |
| 2 GRUNDLAGEN..... | 32 |
| 2.1 Allgemeines | 32 |
| 2.2 Begriffe | 32 |
| 2.3 Stand der Technik im Bereich BIM | 34 |
| 2.3.1 Einleitung | 34 |
| 2.3.2 BIM Anwendungen im Straßenbau | 34 |
| 2.3.3 Informationsanforderungen..... | 38 |
| 2.3.4 IT-Landschaft für BIM im Straßenbau | 44 |
| 2.3.5 Open BIM im Straßenbau – IFC-Road..... | 47 |
| 2.3.6 Einsatz der BIM-Methode in Straßenbauprojekten | 54 |
| 2.3.7 Aktuelle Entwicklung für den Betrieb von Straßeninfrastrukturen..... | 57 |
| 2.4 Stand der Technik im Management der Straßeninfrastruktur | 62 |
| 2.4.1 Einleitung | 62 |
| 2.4.2 Überwachung..... | 65 |
| 2.4.3 Betrieb..... | 74 |
| 2.4.4 Erhaltungsplanung | 75 |
| 2.5 Datenflüsse über die Lebensdauer | 77 |



| | | |
|----------|--|------------|
| 2.5.1 | Vorgehensweise zur Prozessmodellierung | 77 |
| 2.5.2 | Prozessmodell Asset Management | 79 |
| 2.5.3 | Ableitung der Teilprozesse | 83 |
| 2.6 | Kapitelzusammenfassung..... | 91 |
| 3 | DATENHALTUNG IN DEN D-A-CH LÄNDERN..... | 93 |
| 3.1 | Allgemeines | 93 |
| 3.2 | Datenhaltung im Bauprozess..... | 94 |
| 3.2.1 | Funktionen und Anforderungen an gemeinsame Datenumgebungen | 95 |
| 3.2.2 | Deutschland | 98 |
| 3.2.3 | Österreich | 99 |
| 3.2.4 | Schweiz..... | 101 |
| 3.2.5 | Zusammenfassung | 103 |
| 3.2.6 | Katalog der relevanten Baustoffdaten..... | 103 |
| 3.3 | Datenhaltung im Bereich des Asset Managements | 104 |
| 3.3.1 | Einleitung | 104 |
| 3.3.2 | Deutschland | 106 |
| 3.3.3 | Österreich | 108 |
| 3.3.4 | Schweiz..... | 112 |
| 3.3.5 | Zusammenfassung | 115 |
| 3.4 | Erweiterbares Modell des Datenaustausches | 116 |
| 3.4.1 | Allgemeines | 116 |
| 3.4.2 | Übersichtsmodell zum Datenfluss..... | 118 |
| 3.4.3 | Datenfluss bei der Zustandserfassung und -bewertung | 119 |
| 3.4.4 | Datenfluss bei der Erhaltungsplanung | 122 |
| 3.4.5 | Datenfluss bei der Bauausführung..... | 124 |
| 3.5 | Kapitelzusammenfassung..... | 126 |
| 4 | KONZEPT FÜR EINEN BIM-BASierten DATENAUSTAUSCH | 127 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.1 | Allgemeines | 127 |
| 4.2 | Merkmale und Merkmalsgruppen | 127 |
| 4.2.1 | Baustofftechnische Daten (As-built-Modell)..... | 128 |
| 4.2.2 | Daten zu geplanten Erhaltungsmaßnahmen | 141 |
| 4.2.3 | Daten der Zustandserfassung und -bewertung..... | 142 |
| 4.3 | Modellspezifische Vorgaben für die Erstellung von digitalen Bauwerksmodellen | 143 |
| 4.3.1 | Lineare Referenzierung (IFC-Alignment)..... | 144 |
| 4.3.2 | Semantische Informationen – Baustofftechnische Merkmale | 148 |
| 4.3.3 | Ontologie der baustofftechnischen Merkmale..... | 149 |
| 4.4 | Erstellung und Modifikation von Informationen | 154 |
| 4.4.1 | Erstellung eines Bauwerkmodells | 154 |
| 4.4.2 | Nutzung von Informationscontainern - | 158 |
| 4.4.3 | Verknüpfung und Austausch von Information mittels ICDD | 160 |
| 4.4.4 | ICDD für die Zustandserfassung und -bewertung..... | 161 |
| 4.4.5 | ICDD für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen..... | 162 |
| 4.4.6 | ICDD für die Dokumentation von Erhaltungsmaßnahmen..... | 165 |
| 4.5 | Filterung und Aggregation von Informationen..... | 168 |
| 4.5.1 | Definition der Anwendung von Filterung und Aggregation..... | 168 |
| 4.5.2 | Filterungs- und Aggregationsfälle für Update I | 171 |
| 4.5.3 | Filterungsfälle für Update II..... | 178 |
| 4.5.4 | Filterungsfälle für Update III..... | 180 |
| 4.5.5 | Technische Umsetzung mit Semantic Web | 180 |
| 4.6 | Kapitelzusammenfassung..... | 185 |
| 5 | VERKNÜPFUNG VON BIM UND IAMS | 187 |
| 5.1 | Allgemeines | 187 |
| 5.2 | Datenhaltung im Rahmen der Betriebsphase | 187 |
| 5.3 | Verknüpfung von Data Warehouses | 193 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.4 | Ganzheitliches Asset-Management-Portal | 196 |
| 5.5 | Kapitelzusammenfassung..... | 203 |
| 6 | EXEMPLARISCHE ANWENDUNG | 205 |
| 6.1 | Allgemeines | 205 |
| 6.2 | Umsetzungskonzept | 205 |
| 6.3 | Datengrundlage | 206 |
| 6.3.1 | Datengrundlage und Datenbank | 206 |
| 6.3.2 | IFC-Modell (Bauwerksmodell)..... | 211 |
| 6.4 | IT-Prototyp und ICDD-Plattform..... | 218 |
| 6.5 | Beispielanwendung der Anwendungsfälle | 219 |
| 6.5.1 | Technische Vorbereitung für den Anwendungsfall | 220 |
| 6.5.2 | Allgemeiner Ablauf des Datenaustauschs | 221 |
| 6.5.3 | Inhalt des Containers zur „Erhaltungsmaßnahme eines Fahrbahnabschnitts“ | 221 |
| 6.6 | Kapitelzusammenfassung..... | 229 |
| 7 | SCHLUSSBETRACHTUNG | 230 |
| 7.1 | Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse | 230 |
| 7.1.1 | Ausgangslage | 230 |
| 7.1.2 | Ziel des Forschungsvorhabens..... | 230 |
| 7.1.3 | Methodik und Ergebnisse | 231 |
| 7.2 | Empfehlungen..... | 232 |
| 7.3 | Ausblick | 233 |
| 8 | LITERATURVERZEICHNIS | 234 |
| | ANHANG..... | 243 |
| A.1. | Begriffssystematik | 243 |
| A.2. | Katalog der relevanten baustofftechnologischen Daten..... | 243 |
| A.3. | Merkmalsgruppen und Merkmale | 243 |
| A.4. | Verhaltensorientierte Prüfverfahren..... | 256 |

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|---|----|
| Abbildung 1-1: Methodik bei der Bearbeitung des Projektes und Struktur des Berichts | 31 |
| Abbildung 2-1: Übersicht der Anwendungsfälle für den Infrastrukturbau in Deutschland (Quelle: BIM4INFRA2020 - Handreichungen und Leitfäden Teil 6). | 35 |
| Abbildung 2-2: Übersicht der Anwendungsfälle der ASFiNAG in Österreich (Quelle: ASFiNAG intern). | 37 |
| Abbildung 2-3: Startseite Use Case Management (Quelle: https://ucm.buildingsmart.org). .. | 38 |
| Abbildung 2-4: Detaillierungsgrad der Bauwerksinformation über ganzen Lebenszyklus (Quelle DEGES LOD-Konzept Grundlagen Version 1.6). | 39 |
| Abbildung 2-5: Konventionelle Maßstabanforderungen und LOD-Klassifikationen für Strecke und Ingenieurbauwerk (DEGES 2020a). | 41 |
| Abbildung 2-6: Beispiel zum LOD-Konzept der DEGES (DEGES 2019b). | 41 |
| Abbildung 2-7: Einteilung in Merkmale den Entwurf von Landstraßen nach der deutschen Richtlinie für die Anlage von Landstraßen. | 43 |
| Abbildung 2-8: Übersicht über die Einteilung der Infrastrukturelement und Zuordnung von Merkmalen (Hallinger & Silberbauer 2018). | 44 |
| Abbildung 2-9: Typische Modellierungsschritte zur Erzeugung eines Straßenkörpers (Quelle: Schüßler-Plan GmbH). | 45 |
| Abbildung 2-10: Darstellung der Position Asphaltdeckschicht im Abrechnungsformular und in der 3D-Modellansicht (Quelle: Hermann Dallmann Straßen- und Tiefbau GmbH & Co. KG.). | 46 |
| Abbildung 2-11: IT-Landschaft zur Planung eines Abschnitts der Havellandautobahn (Quelle: IB&T Software GmbH). | 47 |
| Abbildung 2-12: Trassierung als gemeinsame Basis für Infrastrukturbauwerke (Quelle: Technische Universität München). | 48 |
| Abbildung 2-13: IFC Road (Quelle: UML Model Report for Road Elements – buildingSMART International). | 49 |
| Abbildung 2-14: Modellierung der Geometrie von Achse und Gradiente mit IFC-Klassen (Quelle: Technische Universität München). | 50 |
| Abbildung 2-15: Die Achse mit eingezeichneten Gradiententrajektorien. Sie wurde als IfcAlignmentCurve mit entsprechenden Elementen in der Achse und Gradiente modelliert (Quelle: Technische Universität München). | 51 |
| Abbildung 2-16: Räumliche Strukturierung von Straßen (Quelle: UML Model Report for Road Elements – buildingSMART International). | 51 |



| | |
|---|-----|
| Abbildung 2-17: Aufbau einer Straße mit Klasse aus dem IFC-Road Standard..... | 52 |
| Abbildung 2-18: Städtische Kreuzung mit eingezeichneten Komponenten (Quelle: Technische Universität München)..... | 53 |
| Abbildung 2-19: Modellierung von Bordsteinen der Verkehrsinsel und Fahrbahnmarkierungen (Quelle: Technische Universität München)..... | 54 |
| Abbildung 2-20: Typische Anwendungsfälle Straßenprojekte (Quelle: Standard AIA ASFiNAG)..... | 55 |
| Abbildung 2-21: Steckbrief des Anwendungsfalls Bestandserfassung (BIM4INFRA 2020) .. | 56 |
| Abbildung 2-22: Fach- und Teilmodelle im Rahmen der Havellandautobahn (Quelle: IB&T Software GmbH)..... | 57 |
| Abbildung 2-23: Relationships between information requirements and information models (DIN 2019b)..... | 58 |
| Abbildung 2-24: PropertySet zu den Bindemittleigenschaften der Asphaltdeckschicht im Solibri-Model-Viewer (Quelle: Ruhr-Universität Bochum) | 60 |
| Abbildung 2-25: Beispiel für ein Linked Data Konzept auf Basis im Bereich der Energieanalyse von Gebäuden (Curry et al. (2013))..... | 62 |
| Abbildung 2-26: Phasen über die Lebensdauer der Straßeninfrastruktur | 63 |
| Abbildung 2-27: Strategisches und operatives Asset Management..... | 64 |
| Abbildung 2-28: Grundsatz der Bewertung in den DACH-Ländern [Schiffmann und Hajdin 2017]..... | 68 |
| Abbildung 2-29: Zustandsbewertung der Brücken in Abhängigkeit der Gliederungsebene ... | 74 |
| Abbildung 2-30: Betrachtungsebenen und Aufgaben im Asset Management..... | 79 |
| Abbildung 2-31: Struktur der Aufgabenbereiche des Asset Managements..... | 81 |
| Abbildung 2-32: Prozessmodell Asset Management..... | 82 |
| Abbildung 2-33: Teilprozessmodell Inspektion / Zustandserfassung und -bewertung | 85 |
| Abbildung 2-34: Beispiel Orthophoto Fahrbahn | 85 |
| Abbildung 2-35: Teilprozessmodell Finanzbedarfsprognose..... | 87 |
| Abbildung 2-36: Teilprozessmodell Erhaltungsplanung | 88 |
| Abbildung 2-37: Teilprozessmodell Genehmigungsplanung | 90 |
| Abbildung 2-38: Teilprozessmodell Ausführungsplanung | 90 |
| Abbildung 2-39: Teilprozessmodell Ausführungsplanung | 91 |
| Abbildung 3-1: Aggregationsgrade nach DIN SPEC 91391-1 (DIN 2019c)..... | 97 |
| Abbildung 3-2: Prozess Dokumentenlauf Bestandsdokumentation (ASFiNAG 2013)..... | 100 |
| Abbildung 3-3: Prozess PDo und DaW Abgabe (ASTRA 2020)..... | 102 |



| | |
|--|-----|
| Abbildung 3-4: Schematische Darstellung Prozess zur digitalen Ablage von Bauwerks- und Projektdokumentationen (ASTRA 2019). | 103 |
| Abbildung 3-5: Struktur von Daten im Infrastrukturmanagement (vgl. Hajdin et al. 2019) ... | 105 |
| Abbildung 3-6: Straßeninformationsbank NWSIB (online) mit Darstellung des Aufbaus einer BAB (Straßen.NRW)..... | 107 |
| Abbildung 3-7: IT-ZEB Server von BMVI und BAST..... | 108 |
| Abbildung 3-8: IMT der ASFiNAG (vgl. ASFiNAG 2016b, Kienreich et al. 2018)..... | 109 |
| Abbildung 3-9: Hierarchische Datenstruktur Objektverwaltung Objekttyp X im IMT der ASFiNAG (vgl. ASFiNAG (2016a))..... | 110 |
| Abbildung 3-10: Auszug von für die Fahrbahnen relevanten Datenfeldern der IMT | 111 |
| Abbildung 3-11: Schematische Übersicht der Struktur der Kunstbautenobjekttypen im IMT | 112 |
| Abbildung 3-12: Gesamtübersicht MISTRA (vgl. ASTRA 2014)..... | 113 |
| Abbildung 3-13: Hierarchie des KUBA-Katalogs | 115 |
| Abbildung 3-14: Datenbedarf des in Deutschland angewandten PMS..... | 117 |
| Abbildung 3-15: Datenfluss im AM über den Lebenszyklus | 118 |
| Abbildung 3-16: Datenfluss bei der Zustandserfassung und -bewertung..... | 119 |
| Abbildung 3-17: Datenaufbereitung bei der Zustandserfassung und -bewertung | 120 |
| Abbildung 3-18: Übersicht zum Datenbedarf bei der Zustandserfassung und -bewertung .. | 121 |
| Abbildung 3-19: Übersicht zum Datenfluss bei der Nutzung der Zustandsdaten | 121 |
| Abbildung 3-20: Übersicht zum Datenbedarf zur Gesamtbewertung der Fahrbahn..... | 123 |
| Abbildung 3-21: Übersicht zum Datenfluss bei der Erhaltungsplanung | 124 |
| Abbildung 3-22: Übersicht zum Datenfluss bei der Bauausführung | 125 |
| Abbildung 3-23: Übersicht zum Datenbedarf beim „wie gebaut“ Modell | 125 |
| Abbildung 4-1: Systematik zur Erstellung von Merkmalsgruppen am Beispiel einer Asphaltdeckschicht (in Anlehnung an [Radenberg et al. 2022])..... | 129 |
| Abbildung 4-2: Verhaltensorientierte Prüfverfahren an Asphalt | 136 |
| Abbildung 4-3: Vergleich von Parameterbezeichnungen am Beispiel des Spaltzug-Schwellversuches in Deutschland und der Schweiz | 139 |
| Abbildung 4-4: Merkmalsgruppen und Merkmale der Zustandserfassung und -bewertung. | 143 |
| Abbildung 4-5: Möglichkeiten zur Abbildung eines Alignments | 146 |
| Abbildung 4-6: Allgemeine Merkmale zur linearen Referenzierung | 147 |
| Abbildung 4-7: Merkmale zur linearen Referenzierung – System Deutschland | 148 |
| Abbildung 4-8: Merkmale zur linearen Referenzierung – System Schweiz..... | 148 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 4-9: Merkmale zur linearen Referenzierung – System Österreich..... | 148 |
| Abbildung 4-10: Vorgehensweise zur Erstellung von baustofftechnischen Merkmalsgruppen | 149 |
| Abbildung 4-11: Anheftung von Informationen an geometrische Elemente einer Straße..... | 149 |
| Abbildung 4-12: Übersicht der EUOTL Ontologie mit Hauptklassen und Teil der Unterklassen | 151 |
| Abbildung 4-13: Übersicht der Hauptklassen Baustoff Daten Ontology | 152 |
| Abbildung 4-14: Unterklassen mit Performance Prüfverfahren | 152 |
| Abbildung 4-15: Unterklassen Eigenschaften mit konkretem Material | 153 |
| Abbildung 4-16: Übersicht der Dataproperty von ERMO:Programm..... | 154 |
| Abbildung 4-17: Modellelemente des Fahrbahnaufbaus mit angehefteten Eigenschaftssätzen | 155 |
| Abbildung 4-18: Virtuelle Schichten als Informationsträger für die Maßnahmenplanung | 156 |
| Abbildung 4-19: Virtuelle Schichten als Informationsträger für die Zustandserfassung | 156 |
| Abbildung 4-20: Komponenten eines Informationscontainer ICDD in Hagedorn (2018)..... | 159 |
| Abbildung 4-21: Allgemeines Prozessmodell hinsichtlich des Datenaustauschs | 160 |
| Abbildung 4-22: Übersicht der ICDD-Inhalt für Zustandserfassung und -bewertung | 161 |
| Abbildung 4-23: Schematische Darstellung zu Inhalt und Verknüpfungen ICDD- Fahrbahnzustand..... | 163 |
| Abbildung 4-24: Übersicht der ICDD-Inhalt für Fahrbahn Erhaltungsplan..... | 164 |
| Abbildung 4-25: Schematische Darstellung zu Inhalt und Verknüpfungen ICDD- Fahrbahn | 165 |
| Abbildung 4-26: Übersicht der ICDD-Inhalt für Fahrbahn Erhaltungsmaßnahme | 166 |
| Abbildung 4-27: Schematische Darstellung zu Inhalt und Verknüpfungen ICDD- Fahrbahn | 167 |
| Abbildung 4-28: Exemplarischer Datenbedarf für Fall II-3..... | 179 |
| Abbildung 4-29: Turtle Syntax Beispiel einer SPARQL Abfrage | 182 |
| Abbildung 4-30: SPARQL – Abfrage über Schichtdaten einen Fahrbahnabschnitt..... | 184 |
| Abbildung 4-31: SPARQL – Abfrage über eine Verwaltungsmaßnahme im Jahr 2024 | 185 |
| Abbildung 5-1: Nutzung von Informationscontainern zum Datenaustausch zwischen Projekt- und Asset-Informationsmodell nach EN ISO 19650-1 | 188 |
| Abbildung 5-2: Import eines Informationscontainers in eine relationale Datenbank eines Asset- Management-Systems..... | 189 |



| | |
|---|-----|
| Abbildung 5-3: Aufbau eines Asset-Management-Portals zur Verknüpfung von geometrischen und semantischen Informationen | 191 |
| Abbildung 5-4: Spezifizierung der Datenhaltung nach Nutzungsebene | 193 |
| Abbildung 5-5: Konzept für verknüpfte Data Warehouses | 196 |
| Abbildung 5-6: Konzept für ein ganzheitliches Asset-Management-Portal..... | 199 |
| Abbildung 5-7: Konzept zur Aufteilung eines Straßenmodells auf Basis von Maßnahmenabschnitten | 200 |
| Abbildung 5-8: Konzept zur Abfrage von zwei Versionen eines Straßenabschnitts als zwei getrennte BIM-Modelle | 201 |
| Abbildung 5-9: Konzept zur Nutzung von GAIA-X für das Infrastrukturmanagement (Gaia-X Hub Germany 2022) | 203 |
| Abbildung 6-1: Pilot-Straßendatenbank für exemplarische Anwendung | 207 |
| Abbildung 6-2: Allgemeine Merkmale zur topologischen Gliederung und Definition der Semantik mit Beispieldaten | 211 |
| Abbildung 6-3: Allgemeine Merkmale zum Fahrbahnaufbau mit Beispieldaten | 212 |
| Abbildung 6-4: Merkmale Asphalt, Erstprüfung mit Beispieldaten..... | 212 |
| Abbildung 6-5: Merkmale Bindemittel, Erstprüfung mit Beispieldaten..... | 212 |
| Abbildung 6-6: Merkmale Gestein, Erstprüfung mit Beispieldaten | 213 |
| Abbildung 6-7: Merkmale zur Beschreibung von Semantik / Topologie mit Beispieldaten... | 214 |
| Abbildung 6-8: Merkmale ZEB-Kampagne mit Beispieldaten..... | 214 |
| Abbildung 6-9: Merkmale ZEB-Teilprojekt mit Beispieldaten | 214 |
| Abbildung 6-10: Merkmale ZEB-Teil- und Gesamtwerte mit Beispieldaten..... | 215 |
| Abbildung 6-11: Merkmale ZEB-Zustandswerte Asphalt mit Beispieldaten | 216 |
| Abbildung 6-12: Merkmale zur Beschreibung von Semantik / Topologie mit Beispieldaten. | 217 |
| Abbildung 6-13: Merkmale zur Maßnahmenplanung mit Beispieldaten | 217 |
| Abbildung 6-14: Systemarchitektur der ICDD-Plattform | 219 |
| Abbildung 6-15: Merkmale in Mset_BIM4AMS_Bohrkern_LinRef_AT mit Beispieldaten ... | 224 |
| Abbildung 6-16: Merkmale in Mset_BIM4AMS_Bohrkern_Semantic_Topologie mit Beispieldaten | 224 |
| Abbildung 6-17: Merkmale in Mset_BIM4AMS_Ashfaltdeckschicht_Kontrollprüfung mit Beispieldaten | 224 |
| Abbildung 6-18: Merkmale in Mset_BIM4AMS_Tragschicht_gebunden_Kontrollprüfung mit Beispieldaten | 224 |
| Abbildung 6-19: Merkmale in Mset_BIM4AMS_Schicht_Allgemein mit Beispieldaten | 225 |

TABELLENVERZEICHNIS

| | |
|---|-----|
| Tabelle 2-1: Klassifikation von LOD | 40 |
| Tabelle 2-2: Zustandsgrößen der Zustandserfassung und zugehörige Zustandswerte (vgl. FGSV 2001, FGSV 2006, VSS 2004, FSV 2006, FSV 2012)..... | 67 |
| Tabelle 2-3: Vergleich der Kategorisierung zur Zustandsbewertung von Fahrbahnen in Deutschland, Österreich und der Schweiz. | 69 |
| Tabelle 2-4: Definitionen der Zustandsbewertung nach RI-EBW-PRÜF | 70 |
| Tabelle 2-5: Objektbeurteilung gemäß RVS 13.03.11 | 72 |
| Tabelle 2-6: Zustandsklassen mit Beschreibung..... | 73 |
| Tabelle 2-7: Modellansatz zur Zustandsprognose für verschiedene Infrastrukturgruppen in den DACH-Ländern. | 76 |
| Tabelle 4-1: Filterungs- und Aggregationsfälle | 169 |
| Tabelle 4-2: Zustandsverteilung der schweizerischen Fallbeispieldaten..... | 172 |
| Tabelle 4-3: Gefilterte Abschnitte nach I2>3.0 in der Kampagne 2017 | 173 |
| Tabelle 4-4: Zustandsverteilung des Gesamtwerts IG für betrachtete Abschnitte | 173 |
| Tabelle 4-5: Gefilterte Abschnitte; Abfrage der strukturellen Bewertung (Deutschland) | 175 |
| Tabelle 4-6: Gefilterte Abschnitte; Abfrage der strukturellen Daten (Deutschland)..... | 176 |
| Tabelle 4-7: Gefilterte Abschnitte ZEB, Fahrstreifen | 177 |
| Tabelle 4-8: Gefilterte Abschnitte; Maßnahmenprogramm / Fall II-1..... | 179 |
| Tabelle 4-9: Datenzustand bezüglich Datensystem und Datenformat | 181 |
| Tabelle 4-10: Daten aus Fahrbahnabschnitt als Instanzen den Ontologien..... | 183 |
| Tabelle 4-11: Erhaltungsplan für zwei Fahrbahnabschnitten als Instanzen den Ontologien | 184 |
| Tabelle 12: Glossar zu verwendeten Begriffen zu ganzheitlichem Asst-Management-Portal | 198 |
| Tabelle 6-1: Inhalt des Containers „Auftrag Erhaltungsmaßnahme“ | 222 |
| Tabelle 6-2: Inhalt des Containers „Pavement inspection result“ | 227 |
| Tabelle A.3-1: PSET Schicht_allgemein..... | 243 |
| Tabelle A.3-2: PSET Gestein_Erstprüfung / Massnahmenplanung | 243 |
| Tabelle A.3-3: PSET Gestein_Kontrollprüfung | 244 |
| Tabelle A.3-4: PSET Bindemittel_Erstprüfung / Kontrollprüfung / Massnahmenplanung..... | 244 |
| Tabelle A.3-5: PSET Zement_Erstprüfung / Massnahmenplanung..... | 244 |
| Tabelle A.3-6: PSET Mischgut_Asphalt_Erstprüfung / Massnahmenplanung | 244 |
| Tabelle A.3-7: PSET Mischgut_Asphalt_Kontrollprüfung | 244 |
| Tabelle A.3-8: PSET Mischgut_Beton_Erstprüfung / Massnahmenplanung | 245 |



| | |
|---|-----|
| Tabelle A.3-9: PSET Mischgut_Beton_Kontrollprüfung..... | 245 |
| Tabelle A.3-10: PSET Asphaltdeckschicht_Kontrollprüfung / Massnahmenplanung | 246 |
| Tabelle A.3-11: PSET Betondeckschicht_Kontrollprüfung / Massnahmenplanung..... | 246 |
| Tabelle A.3-12: PSET Asphaltbinderschicht_Kontrollprüfung / Massnahmenplanung..... | 247 |
| Tabelle A.3-13: PSET Tragschicht_gebunden_Kontrollprüfung / Massnahmenplanung | 247 |
| Tabelle A.3-14: PSET Tragschicht_ungebunden_Kontrollprüfung / Massnahmenplanung | 247 |
| Tabelle A.3-15: PSET Untergrund/Unterbau_Kontrollprüfung / Massnahmenplanung | 247 |
| Tabelle A.3-16: PSET Einbaubedingungen..... | 247 |
| Tabelle A.3-17: PSET Massnahmenplanung | 248 |
| Tabelle A.3-18: PSET ZEB-Kampagne | 248 |
| Tabelle A.3-19: PSET ZEB-Teilprojekt..... | 248 |
| Tabelle A.3-20: PSET Zustandsgrößen Asphalt..... | 248 |
| Tabelle A.3-21: PSET Zustandsgrößen Beton | 249 |
| Tabelle A.3-22: PSET Zustandswerte Asphalt | 251 |
| Tabelle A.3-23: PSET Zustandswerte Beton..... | 253 |
| Tabelle A.3-24: PSET Teil- und Gesamtwerte sowie Indizes..... | 255 |
| Tabelle A.4-1: Prüfverfahren zur Ermittlung des Ermüdungsverhaltens | 256 |
| Tabelle A.4-2: Prüfverfahren zur Ermittlung des Steifigkeitsverhaltens | 256 |
| Tabelle A.4-3: Prüfverfahren zur Ermittlung des Verformungsverhaltens | 257 |
| Tabelle A.4-4: Prüfverfahren zur Ermittlung des Kälteverhaltens..... | 257 |
| Tabelle A.4-5: Verhaltensorientierte Prüfverfahren für Bindemittel | 257 |

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

| | |
|---------|--|
| AIM | Asset-Informationsmodell |
| AIR | Asset-Informationsanforderungen |
| AMS | Asset Management System |
| BAP | BIM-Abwicklungsplan |
| BIM | Building Information Modeling |
| BISStra | Bundesinformationssystem Straße |
| BPMN | Business Process Model and Notation |
| BSD | Baustoff Daten Ontology |
| CDE | Common Data Environment |
| COINS | Constructive Objects and the Intergration of Processes and Systems |
| EIR | Informationsaustauschanforderungen |
| ETL | Extract, Transform, Load |
| EUROTL | European Road OTL |
| GIS | Geographisches-Informations-System |
| GUID | Globally Unique Identifier |
| ICDD | Information Container for linked Document Delivery |
| IDM | Information Delivery Manual |
| IFC | Industry Foundation Classes |
| ISO | International Organisation for Standardization |
| LOD | Level of Detail |
| LOG | Level of Geometry |
| LOIN | Level of Information Need |
| OIR | Organisatorische Informationsanforderungen |
| OKSTRA | Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen |
| OWL | Web Ontology Language |
| PIM | Projekt-Informationsmodell |
| PIR | Projekt-Informationsanforderungen |
| PMS | Pavement Management System |
| PSET | Property Set |
| RAL | Richtlinien für die Anlage von Straßen |
| RDF | Resource Description Framework |
| RDFS | Resource Description Framework Schema |



| | |
|--------|--|
| SIB | Straßeninformationsbank |
| SPARQL | SPARQL Protocol And RDF Query Language |
| TSD | Traffic Speed Deflectometer |
| WFS | Web-Feature-Service |
| WMS | Web-Map-Service |
| ZEB | Zustandserfassung und -bewertung |
| ZK | Zustandsklasse |

1 EINLEITUNG

1.1 Allgemeines

Building Information Modeling (BIM) bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks alle für den Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden. Im Zentrum dieses Prozesses steht die Datenhaltung für Bauwerke, die die Entscheidungsgrundlagen für bautechnische und wirtschaftliche Fragestellungen während des Lebenszyklus darstellen. Ein verbesserter Informationsaustausch, ein digitaler Datenabgleich und der damit einhergehende effiziente Planungsprozess hinsichtlich Kosten, Termine, Qualität und Nachhaltigkeit sind die wesentlichen Vorteile von BIM.

Derzeit werden in den D-A-CH-Ländern die bei der Bauausführung anfallenden baustoffbezogenen Daten fast ausschließlich für die Abwicklung des jeweiligen Bauvertrages genutzt. Systematische Datenanalysen und Auswertungen, die eine Grundlage für die Fortschreibung der technischen Regelwerke bilden, können ohne großen Aufwand nur im (lokal) begrenzten Umfang erfolgen. Vorinformationen, die bei einer späteren Verwendung der wiedergewonnenen Baustoffgemische für eine hochwertige Verwendung von erheblichem Nutzen sein können, gehen verloren oder müssten ggf. aus zum Teil Jahrzehnte alten Aktenlagen erhoben werden. Eine Vereinheitlichung der Nutzung und Datenverwaltung bautechnischer Informationen von Straßen sowohl in Bezug auf den Umfang als auch der Qualität ist daher wünschenswert. Des Weiteren besteht der Bedarf an der Erarbeitung von entsprechenden Softwarestandards.

1.2 Problemstellung

In den D-A-CH-Ländern werden schon seit längerem Anstrengungen unternommen, BIM im Straßenbau einzusetzen. Die ARGE INFRABIM wurden die bereits beendeten BIM-Pilotprojekte des BMVI von der wissenschaftlichen Begleitung hinsichtlich Potenziale und Hemmnisse ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass wichtige BIM-Anwendungsfälle im Straßenbau schon sehr gut umgesetzt werden können.

Im Zuge dieser Pilotprojekte offenbarten sich jedoch bei der Erstellung der Modelle durch das Zusammenführen vorher getrennt voneinander erarbeiteter Entwurfselemente und Daten Fehler in der traditionellen zeichnungsorientierten Planung, welche sich im Zuge einer BIM-basierten Vorgehensweise so nicht eingestellt hätten. Differenzen in Stationsangaben und in der geographischen Zuordnung der einzelnen Gewerke, inkonsistente Entwurfsdarstellungen,



Fehler in der Querprofilentwicklung und fehlende Informationen konnten im Zuge der Erarbeitung der Modelle aufgezeigt und beseitigt werden.

Dem Grunde nach ist die Umsetzung der BIM-Methode alternativlos, da damit ein Problem der Verfügbarkeit von Daten über die Lebensdauer einer Straße besser als bisher gelöst werden könnte (Stöckner, Niever, 2018). Dies erfordert das Aufsetzen geeigneter Prozess- und Datenflussmodelle, da die Arbeitsprozesse klar definiert sein müssen.

Derzeit ist auch feststellbar, dass verschiedene Fachorganisationen Muster und Vorlagen für BIM-Projekte herausgeben, welche auf Objektebene eine gute Grundlage darstellen. Dabei sind jedoch drei grundlegende Aussagen feststellbar:

1. Die bisherigen Unterlagen decken im wesentlichen Einzelprojekte und damit Unikate ab. Eine generelle Beschreibung von Prozessen und Datenflüssen in Straßenbauverwaltungen existiert bis jetzt noch nicht.
2. Bisherige Projekte beschäftigen sich vor allem mit der Abwicklung von Maßnahmen im Sinne einer „digitalen Baustelle“. Der dort notwendige Datenfluss wird gut erfasst. Es wird aber bisher nicht der Frage nachgegangen, welche Daten für die weiteren Phasen über die Lebensdauer erforderlich sind.
3. Soweit sich Projekte mit dem Erhaltungsmanagement beschäftigen, werden die baustofftechnischen Daten aus dem Bauprozess weitgehend vernachlässigt.

Auf der Basis der bisherigen Erkenntnisse zu BIM im Straßenbau und vorliegenden Prozessbeschreibungen sowie der generellen Entwicklung am Markt und in der Normung ist daher ein Stand erreicht, der BIM-Pilotprojekte im Bereich der Straßenerhaltung als sinnvoll erscheinen lässt.

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass nach Fertigstellung eines Straßenbauwerks durch die umfassende Dokumentation und die vorhandenen Abnahmeprüfungen eine sehr detaillierte Datenbasis vorhanden ist, welche über die Lebensdauer nur in begrenztem Maß oder auch gar nicht genutzt wird. Durch die fehlende Verknüpfung der Datenbasis aus dem Bauprozess und der vorhandenen Asset Management Daten gehen diese Informationen meist verloren.

In den meisten Straßenbauverwaltungen existieren Informationssysteme für die Straßenbefestigungen und die Ingenieurbauwerke. In Deutschland und in der Schweiz beinhalten diese bereits sehr umfangreiche Fachkataloge, welche eine Grundlage für diese Verknüpfung darstellen. Leider werden diese Potentiale aktuell nicht oder nur unzureichend genutzt und enthalten aus diesem Grund keine Daten. Eine Verknüpfung von Bauprozess und

Asset Management, wie sie im vorliegenden Projekt BIM4AMS geplant ist, ermöglicht die Nutzung der Potentiale von bereits vorhandenen Informationssystemen.

1.3 Projektziele

Ziel dieses Projektes ist es, die über die Lebensdauer von Straßenbefestigungen relevanten baustofftechnischen Daten in ein konsistentes und durchgängiges BIM-Konzept für das Asset Management der Straßeninfrastruktur nutzbringend zu integrieren und mit den bereits vorhandenen Asset Management Daten sinnvoll zu verknüpfen. Hierbei sollen die Ergebnisse aus dem CEDR Projekt AMSfree (Stöckner et al. 2022) einerseits konsistent um den Aspekt der relevanten baustofftechnischen Daten für Straßenbefestigungen erweitert werden. Andererseits sollen mit einem zusätzlichen Prozessmodell die Grundlagen für eine spätere Erweiterung für Ingenieurbauwerke geschaffen werden. Dafür werden folgende Teilziele verfolgt:

- Darstellung des internationalen Stands der Technik im Bereich BIM-Anwendungen und Standards
- Entwicklung eines Prozessmodells über die Phasen der Lebensdauer für Straßenbefestigungen und zusätzlich für Ingenieurbauwerke für die D-A-CH-Ländern
- Schaffung einer einheitlichen Begriffssystematik für die D-A-CH-Ländern
- Analyse der Datenhaltung separat für die Bauausführung und das Asset Management in den D-A-CH-Ländern
- Beschreibung eines erweiterbaren Datenflussmodell über die Lebensdauer von Straßenbefestigungen vom Bauprozess bis zum Asset Management unter Berücksichtigung der existierenden Informationssysteme in den D-A-CH-Ländern
- Entwicklung eines Konzepts für einen durchgängigen BIM-basierten Datenaustausch: einerseits für die Erstellung, Modifikation und Verknüpfung von Informationen und andererseits zur Filterung und Aggregation von Informationen
- Entwicklung eines Konzepts zur Datenhaltung und zum Datenzugriff auf verschiedenen Nutzungsebenen Entwicklung eines Konzepts über die rechtlichen Rahmenbedingungen von BIM-Daten im Rahmen der Datenhoheit der amtlichen Vermessung
- Beispielhafte Umsetzung eines Workflows für baustofftechnische Daten und einhergehende Nutzungsrechte im Rahmen eines Prototyps/Proof-of-Concept

1.4 Nutzen

Der Nutzen durch die Beschreibung in einem BIM-Prozess mit der baustofftechnologischen Datenbasis und deren temporale Einordnung und örtliche Lokalisierung ist enorm. Die Informationen aus dem Bauprozess, z. B. aus Abnahmeprüfungen, stellen nicht nur den IST-Zustand des Straßenbauwerks zum Abnahmezeitpunkt dar, sondern erlauben als eine initiale Datengrundlage unterschiedliche Analysen über seine Lebensdauer. Damit können, neben der reinen schnelleren Datenverfügbarkeit, auch zusätzliche Auswertungen und Analysen durchgeführt werden. Diese Analysen der verknüpften Daten werden neue und umfassende Erkenntnisse zum baustofftechnischen Verhalten des Bauwerks über die Zeit unter unterschiedlichen Einflüssen hervorbringen. Dies führt zu der Möglichkeit einer genaueren Abschätzung von Risiken und Kosten über die Lebensdauer der Straßeninfrastruktur.

1.5 Aufbau des Berichts

Im Folgenden ist eine Übersicht zum Aufbau des Berichtes sowie der damit in Bezug stehenden methodischen Vorgehensweise zum Erreichen der genannten Zielsetzung dargestellt. Der Bericht gliedert sich in insgesamt sieben Kapitel, deren Inhalt im Folgenden zusammenfassend erläutert werden. In Kapitel 1 wird zunächst eine Einführung in die Thematik BIM gegeben sowie die Problemstellung und das Ziel des Forschungsprojektes erläutert. Kapitel 2 beinhaltet die Grundlagen für die betroffenen Themenbereiche. Dazu werden zunächst die wichtigsten Begriffe innerhalb des Themenbereichs mit Hilfe einer Begriffsliste zusammengetragen. Weiterhin wird der Stand des Wissens im Bereich BIM und im Management der Straßeninfrastruktur zusammengefasst. Zuletzt werden die Datenflüsse über die Lebensdauer eines Straßenbauwerks aufgezeigt. In Kapitel 3 erfolgt eine tiefergehende Analyse der Datenhaltungskonzepte in den DACH-Ländern für die Bereiche des Bauprozesses und des Asset Managements. Darauf aufbauend wird ein erweitertes Modell für den Datenaustausch entwickelt. Im Rahmen des Kapitel 4 wird schließlich ein Konzept für einen BIM-basierten Datenaustausch vorgestellt, welches die Methoden zur Erstellung, Modifikation, Verknüpfung sowie Filterung und Aggregation von Informationen beinhaltet. Für die Verknüpfung von BIM und Infrastruktur-Asset-Management-Systemen (IAMS) werden in Kapitel 5 Konzepte für eine vereinheitlichte Datenhaltung im Rahmen der Betriebsphase, das Konzept zur Verknüpfung von Data Warehouses und der Ansatz eines ganzheitlichen Asset-Management-Portals vorgestellt. Die exemplarische Anwendung und Testung der Methodik erfolgen schließlich innerhalb von Kapitel 6 im Rahmen eines entwickelten IT-Prototyps und der ICDD-Plattform. Die wesentlichen Ergebnisse des Forschungsprojektes sowie

Empfehlungen zur zukünftigen Umsetzung der Forschungsergebnisse werden abschließend in Kapitel 7 gegeben. In der nachfolgenden Abbildung 1-1 ist die Struktur des Berichtes dargestellt.

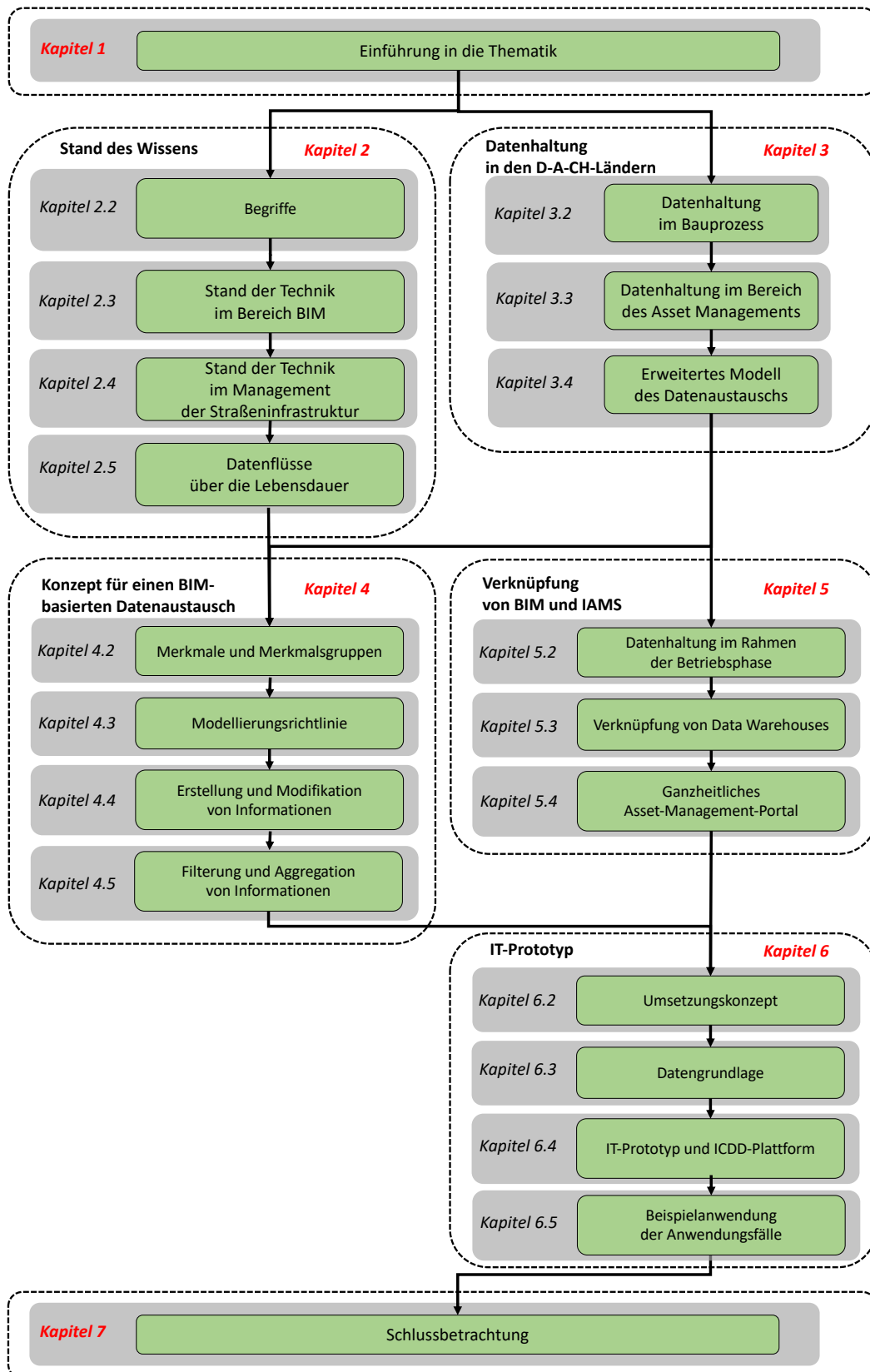


Abbildung 1-1: Methodik bei der Bearbeitung des Projektes und Struktur des Berichts



2 GRUNDLAGEN

2.1 Allgemeines

Das Kapitel “Grundlagen” hat zum Ziel, eine einheitliche Basis für die Bearbeitung des Projektes BIM4AMS zu schaffen. Mit dem Gesamtprojekt soll eine anwendbare Lösung für die drei beteiligten Länder geschaffen werden. Deswegen ist es zunächst notwendig, Unterschiede, Gemeinsamkeiten und vor allem vorhandene BIM-Anwendungen zu analysieren, um eine gemeinsame Grundlage und einen einheitlichen Prozess während der Betriebsphase zu definieren. In einem ersten Schritt werden daher die teils unterschiedlich verwendeten Begriffe für die Betriebs- und Erhaltungsphase der Straßeninfrastruktur zusammenstellt und eine einheitliche Systematik für die Bearbeitung erstellt. Der zweite Schritt konzentriert sich dann auf den aktuell bereits erreichten Stand in der Umsetzung der BIM-Methode. Dies umfasst zunächst die normativen Grundlagen, dann den Stand der Forschung und die Umsetzung von BIM-Projekten, soweit diese für das aktuelle Projekt von Bedeutung sind. Im dritten Teil wird der Stand der Technik im Management der Straßeninfrastruktur dargestellt. Dieser Teil beinhaltet die aktuellen Prozesse, angefangen bei der Zustandserfassung und -bewertung für Fahrbahnen und der Inspektion für Bauwerke sowie die anschließenden Aufgaben der Finanzbedarfsprognose und der Erhaltungsplanung. In einem vierten Teil erfolgt nach der Darstellung und Aufbereitung des derzeit bekannten Standes von Wissenschaft und Technik die erste Umsetzung für das vorliegende Projekt in Form einer Definition eines allgemeinen und skalierbaren Prozessmodells, aus dem Aufgaben und Datenübergabepunkte definiert werden. Dieses Prozessmodell dient in den folgenden Kapiteln als wesentliche Bearbeitungsgrundlage.

2.2 Begriffe

Innerhalb des Projektes sind mit dem D-A-CH Call drei Länder beteiligt, die zum Teil eine unterschiedliche Begriffssystematik verwenden. Zudem gibt es zwischen den beteiligten Fachdisziplinen ebenfalls Abweichungen in der Begriffssystematik, die für das vorliegende Projekt und sowie generell relevant sind und aufgezeigt werden sollen. Daher wurde während der Bearbeitung des Projektes eine (nicht abschließende) Gegenüberstellung der in den drei Ländern verwendeten Begriffe erstellt. Da eine allgemeingültige, länderübergreifende Begriffsdefinition über den Umfang dieses Projektes hinausgehen würde, diente dies vorrangig dem Zweck zumindest eine einheitliche Systematik für die in diesem Projekt verwendeten Begriffe zu erstellen. Eine tabellarische Zusammenstellung der Begriffe mit den jeweiligen

länderspezifischen Definitionen sowie der im Rahmen dieses Projektes verwendeten Begriffsdefinition befindet sich in Anhang A.1.

2.3 Stand der Technik im Bereich BIM

2.3.1 Einleitung

Building Information Modeling steht für eine kooperative Bearbeitung von Aufgaben bzw. Fragestellungen unter Verwendung von digitalen Bauwerksmodellen. Digitalen Bauwerksmodelle werden durch verschiedene Akteure erzeugt, ergänzt und genutzt, um eine Abwicklung von Bauprojekten oder den Betrieb und die Erhaltung von Gebäuden oder Infrastrukturen effizienter gestalten zu können. Kern der BIM-Methode ist ein abgestimmter Datenaustausch, um die digitalen Informationen in konsistenter und möglichst redundanzfreier Weise verarbeiten zu können. Die digitalen Informationen zum Bauwerk werden in Form von digitalen Bauwerksmodellen mit Hilfe von BIM-Modellierungssystemen durch verantwortliche Akteure erstellt. Die digitalen Bauwerksmodelle bestehen dabei im Allgemeinen aus Objekten mit geometrischen, semantischen und topologischen Informationen. Eine große Herausforderung bei der Umsetzung ist, dass die Informationen in verschiedenen IT-Systemen erstellt und genutzt werden, die nicht immer kompatibel sind. Daher müssen die Datenaustauschprozesse im Detail sowie anwendungsspezifisch beschreiben werden. Hierzu wurde die Norm EN ISO 29481 (Building information models - Information delivery manual) entwickelt, um einen strukturierten und effizienten Datenaustausch und somit eine einfache Nutzung der Bauwerksmodelle zu ermöglichen. In den letzten Jahren hat es sich gezeigt, dass für spezielle Fachgebiete (z. B. Hochbau, Infrastrukturbau) und Anwendungsfälle (z. B. Planung, Bauausführung, Erhaltung) individuelle Prozesse, Festlegungen und auch IT-Systeme notwendig sind. Im Folgenden wird der Fokus auf die Anwendung von BIM im Straßenbau gelegt.

2.3.2 BIM Anwendungen im Straßenbau

Die Einführung von BIM im Straßenbau erforderte bisher keine grundlegende Änderung des Ablaufs eines Bauprojekts oder der weiteren Prozesse im Rahmen des Lebenszyklus eines Bauwerkes. Es wird weiterhin unter den bestehenden Richtlinien und Vorgaben eine Bestandserfassung, Bauwerksplanung, Bauausführung, Bauwerkserhaltung sowie der Rückbau vorgenommen. In diesen Phasen wurden und werden aktuelle Konzepte entwickelt, wie digitale Bauwerksmodelle effizient erstellt und genutzt werden können. Wie in allen anderen Bereichen wurde BIM auch im Straßenbau zuerst in der Planungsphase eingeführt. Hierzu werden die einzelnen Prozesse analysiert und Anwendungsfälle zur Nutzung von BIM in dieser Phase herausgearbeitet. Im nächsten Schritt wurde die Bauausführung betrachtet. Aktuell steht die Baudokumentation und die Übergabe in die Betriebsphase im Fokus. Die



Nutzung von BIM während des Betriebs bzw. der Erhaltung von Straßeninfrastrukturen steht noch am Anfang. In Deutschland wurden im Rahmen des Projekts BIM4INFRA2020 (BMVI 2019a) verschiedene Anwendungsfälle von BIM herausgearbeitet, bewertet und priorisiert (siehe Abbildung 2-1). Die priorisierten Anwendungsfälle wurden 2021 im Rahmen des Masterplan BIM Bundesfernstraßen konkretisiert und werden seit Anfang 2022 umgesetzt (BMVI 2021).

| | | Leistungsphasen gem. HOAI | | | | | | | | | Betrieb |
|-----------------------------------|---|---------------------------|---|------------------------|---|------------|---|---|---|---|---------|
| | | Planung | | Vergabe der Ausführung | | Ausführung | | | | | |
| Nr | Anwendungsfälle | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| Bestandserfassung | | | | | | | | | | | |
| AWF 1 | Bestandserfassung | | | | | | | | | | |
| Planung | | | | | | | | | | | |
| AWF 2 | Planungsvariantenuntersuchung | | | | | | | | | | |
| AWF 3 | Visualisierungen | | | | | | | | | | |
| AWF 4 | Bemessung und Nachweisführung | | | | | | | | | | |
| AWF 5 | Koordination der Fachgewerke | | | | | | | | | | |
| AWF 6 | Fortschrittkontrolle der Planung | | | | | | | | | | |
| AWF 7 | Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen | | | | | | | | | | |
| AWF 8 | Arbeits- und Gesundheitsschutz: Planung und Prüfung | | | | | | | | | | |
| AWF 10 | Kostenschätzung und Kostenberechnung | | | | | | | | | | |
| Genehmigung | | | | | | | | | | | |
| AWF 9 | Planungsfreigabe | | | | | | | | | | |
| Vergabe | | | | | | | | | | | |
| AWF 11 | Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe | | | | | | | | | | |
| Ausführungsplanung und Ausführung | | | | | | | | | | | |
| AWF 12 | Terminplanung der Ausführung | | | | | | | | | | |
| AWF 13 | Logistikplanung | | | | | | | | | | |
| AWF 14 | Erstellung von Ausführungsplänen | | | | | | | | | | |
| AWF 15 | Baufortschrittskontrolle | | | | | | | | | | |
| AWF 16 | Änderungsmanagement | | | | | | | | | | |
| AWF 17 | Abrechnung von Bauleistungen | | | | | | | | | | |
| AWF18 | Mängelmanagement | | | | | | | | | | |
| AWF 19 | Bauwerksdokumentation | | | | | | | | | | |
| Betrieb | | | | | | | | | | | |
| AWF 20 | Nutzung für Betrieb und Erhaltung | | | | | | | | | | |

Abbildung 2-1: Übersicht der Anwendungsfälle für den Infrastrukturbau in Deutschland
(Quelle: BIM4INFRA2020 - Handreichungen und Leitfäden Teil 6).

Die Auswahl von bestimmten Anwendungsfällen ist die Grundvoraussetzung für die eigentliche Umsetzung von BIM im Projekt oder im Unternehmen bzw. einer Organisation. Im Rahmen der Planung und Bauausführung erfolgt in der Regel eine Ausschreibung und somit die Beauftragung von internen oder externen Akteuren. Im Rahmen der Ausschreibung der Leistungen wird dann für die gewählten Anwendungsfälle das Informationsmanagement festgelegt, d. h. wer, was, wie und wann zu liefern hat. Entsprechende Vorgaben können der



EN ISO 19650-1/2 (Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen) entnommen werden. Wichtigstes Element hierbei ist die Zusammenstellung und Festlegung der Informationsanforderungen. Die Informationsanforderungen umfassen dabei Aspekte der Organisation, des Asset-Managements und auch wichtige Informationen zur Durchführung des konkreten Bauprojektes. Der Geltungsbereich der EN ISO 19650-1/2 wird wie folgt definiert:

„Dieses Dokument gilt für den gesamten Lebenszyklus aller baulichen Assets, einschließlich strategischer Planung, erster Planungsschritte, Ingenieurleistungen, Entwicklung, Dokumentation und Konstruktion, täglichem Betrieb, Wartung, Sanierung, Reparatur und Rückbau. Dieses Dokument kann auf Assets und Projekte jeden Umfangs und jeder Komplexität angepasst werden, um die Flexibilität und Vielseitigkeit, die die große Bandbreite der möglichen Beschaffungsstrategien kennzeichnen, nicht zu beeinträchtigen und um die Kosten für die Umsetzung dieses Dokuments zu berücksichtigen.“

In Österreich wurden vom Autobahnbetreiber ASFiNAG Standardanwendungsfälle für die Projekte im Hochbau, Brückenbau, Tunnelbau und Straßenbau definiert. Die Anwendungsfälle basieren auf jenen von BIM4INFRA und werden laufend um weitere, ASFiNAG spezifische Anwendungsfälle ergänzt (siehe nachfolgende Abbildung 2-2)

| AwF gem. BIM4INFRA2020 | AwF ASFINAG spezifisch |
|--|--|
| Awf 1 - Bestandserfassung | Awf 81 - Fachmodelle auf Basis der xxx |
| Awf 2 - Planungsvarianten-untersuchung | Awf 82 - Fortschreibung der 3D-Fachmodelle |
| Awf 3 Visualisierungen | Awf 83 Defizitanalyse |
| Awf 4 - Bemessung und Nachweisführung | Awf 84 - Koordinierung am Gesamtmodell - Kollisionsprüfung |
| Awf 5 - Koordination der Fachgewerke | Awf 85 - Mengenermittlung |
| Awf 6 - Fortschrittskontrolle der Planung | Awf 86 - Verknüpfung mit dem Leistungsverzeichnis |
| Awf 7 - Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen | Awf 87 - Basis für Kalkulation und Abrechnung |
| Awf 8 - Arbeits- und Gesundheits-schutz: Planung und Prüfung | Awf 88 - Brückeninspektion |
| Awf 9 - Planungs freigabe | Awf 89 - Planableitung vom Modell |
| Awf 10 - Kostenschätzung und Kostenberechnung | Awf - AsBuiltModell, inkl. laufende Vermessung |
| Awf 11 - Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe | Awf - Vollständigkeit der Gewerke - Abgrenzung der Gewerke |
| Awf 12 - Terminplanung der Ausführung | Awf - Auflagen aus Behördenverfahren und BAV, |
| Awf 13 - Logistikplanung | Awf - EM - Unterschied PLAN zum IST. |
| Awf 14 - Erstellung der Ausführungspläne | |
| Awf 15 - Baufortschrittskontrolle | |
| Awf 16 - Änderungsmanagement bei Planungsänderungen | |
| Awf 17 - Abrechnung von Bauleistungen | |
| Awf 18 - Mängelmanagement | |
| Awf 19 - Bauwerksdokumentation | |
| Awf 20 - Nutzung für Betrieb und Erhaltung | |

Abbildung 2-2: Übersicht der Anwendungsfälle der ASFiNAG in Österreich
(Quelle: ASFiNAG intern).

Für Projekte werden abhängig von der Leistungsphase teilweise ASFiNAG-spezifische Anwendungsfälle erweitert, wie z. B. Verknüpfung mit Standardleistungsverzeichnissen oder Bauwerksinspektionen.

In der Schweiz ist am Beispiel des ASTRA derzeit keine öffentlich zugängliche Zusammenstellung von einer Liste von Anwendungsfällen bekannt. Von Seiten building smart international wird unter <https://ucm.buildingsmart.org/> eine Webseite für ein strukturiertes Vorgehen zur Entwicklung und Sammlung von Use Cases angeboten. Von Schweizer Seite wird via „Bauen Digital Schweiz“ das Thema hier stark vorangetrieben. Ziel ist hier ein strukturiertes Vorgehen zur Entwicklung eines Information Delivery Manual (IDM) basierend auf ISO 29481-1:2016. Der Service gewährleistet eine gemeinsame Sprache und ein einheitliches Verständnis der BIM / VDC-Anwendungen (Use Cases) innerhalb der gesamten Bau- und Immobilienwirtschaft. Use Cases sollen sowohl den Bestellern wie auch dem

Bereitsteller in der Definition der BIM-Ziele eines Projektes helfen. In diesem Zusammenhang sind die Arbeiten des Instituts für digitales Bauen der Fachhochschule der Nordwestschweiz (FHNW) zu erwähnen. Im Projekt „BIM Profil Server“ wird auf der Basis der VDC-Anwendungen eine intuitive Austauschplattform entwickelt. In einem anderen Projekt namens GEOL_BIM wird zusammen mit dem Swisstopo ein Datenmodell für den Untergrund (v. a. Tunnel entwickelt).

USE CASE FILTER

▼ Sprache

☒ Alle

☐ English

☐ Deutsch

☐ Français

> bSI Chapter

> Bausektor

> Use Case Phase

> Reifegrad

> Lebenszyklus

> Akteur

Filter

Filter zurücksetzen

Keywords eingeben

Ein Use Case definiert ...

- wer
- welche Informationen
- zu welchem Zeitpunkt
- in welchem Format
- in welchem Detaillierungsgrad zur Verfügung stellt

Resultat eines Use Case:

- gemeinsames Verständnis
- durchgängige Prozesse
- Grundlagen für EIR und BAP
- Abbildung zum IFC Schema
- Grundlage zu MVD's

Das Use Case Management bietet ein strukturiertes Vorgehen zur Entwicklung eines Information Delivery Manual (IDM) basierend auf ISO 29481-1:2016. Der Service gewährleistet eine gemeinsame Sprache und ein einheitliches Verständnis der BIM / VDC-Anwendungen (Use Cases) innerhalb der gesamten Bau- und Immobilienwirtschaft. Use Cases helfen sowohl den Bestellern wie auch dem Auftragnehmer in der Definition der BIM-Ziele eines Projektes. In einem nachfolgenden Schritt werden die spezifischen Informationsaustauschanforderungen erstellt.

Die Use Cases beschreiben das aktuelle Best Practice und folgen einem openBIM Ansatz.

Haben Sie oder Ihr Unternehmen Interesse, sich aktiv Use Case Management zu engagieren? Sie leisten damit einen wesentlichen Beitrag zur Verständigung und einer Qualitätssteigerung der BIM Methodik in der gesamten Bau- und Immobilienwirtschaft.

Bitte kontaktieren Sie uns via [E-Mail](#) Wir freuen uns auf Ihre aktive Mitarbeit

| Titel | Herausgeber | Sprache | Publiziert am | Letzte Änderung |
|--------------------------------------|---------------------------------|---------|---------------|-----------------|
| ▶ Automatisierter Bohr-Prozess | Genossenschaft Migros Ostsch... | DE | 17.07.2020 | 17.08.2020 |
| ▶ Absteckung aus Modell | buildingSMART Switzerland | DE | 23.12.2019 | 23.12.2019 |
| ▶ Absturzsicherheit | buildingSMART Switzerland | DE | 23.12.2019 | 23.07.2020 |
| ▶ Ausschreibung Beton | buildingSMART Switzerland | DE | 10.02.2020 | 27.05.2020 |
| ▶ Auszug Elemente Gebäudeautomati... | buildingSMART Switzerland | DE | 27.12.2019 | 23.01.2020 |

Abbildung 2-3: Startseite Use Case Management
(Quelle: <https://ucm.buildingsmart.org>).

2.3.3 Informationsanforderungen

Für alle Anwendungsfälle von BIM ist nach EN ISO 19650-1/2 der konkrete Informationsbedarf (Level of Information Need – LOIN) zu definieren. Damit wird für alle Akteure eindeutig geregelt, wer welche Informationen zu liefern hat. Die Vorgaben sind auch für einen effizienten Datenaustausch notwendig. Die Informationsanforderungen werden dabei in Form von sogenannten Ausarbeitungsgraden von BIM-Leistungen spezifiziert. Hierzu wird aktuell eine entsprechende europäische Norm (prEN 17412:2019) erarbeitet. Die Ausarbeitungsgrade

definieren somit den Umfang der Informationen (geometrisch und alphanumerisch), den die BIM-Leistungen bereitstellen müssen, um den antizipierten BIM-Anwendungen zu genügen. Häufig sind diese Definitionen Bestandteil von BIM-Leitfäden oder Anlagen zu Vertragswerken. Der Ausarbeitungsgrad ist u.a. auch als Detaillierungsgrad (Level of Detail – LOD) bekannt. Der Ausarbeitungsgrad besteht aus zwei wichtigen Bestandteilen, dem „Level of Information“ (LOI) und dem „Level of Geometry“ (LOG). LOI beschreibt das Detail und den Umfang der semantischen und auch topologischen Information. LOG beschreibt das Detail und den Umfang der Geometrie eines Bauwerksmodells bzw. Modellelements. Mit steigendem Informationsumfang und Detailtiefe wird der Ausarbeitungsgrad (oder LOD) in der Regel von LOD 100 bis LOD 500 in fünf Stufen unterteilt. Die Detaillierung und der Umfang steigt stetig mit Fortschreitung eines Bauprojektes (siehe Abbildung 2-4). Je nach Art des Bauwerkes kann unterschiedlicher Umfang und Detaillierung in gleicher LOD-Stufe definiert werden.

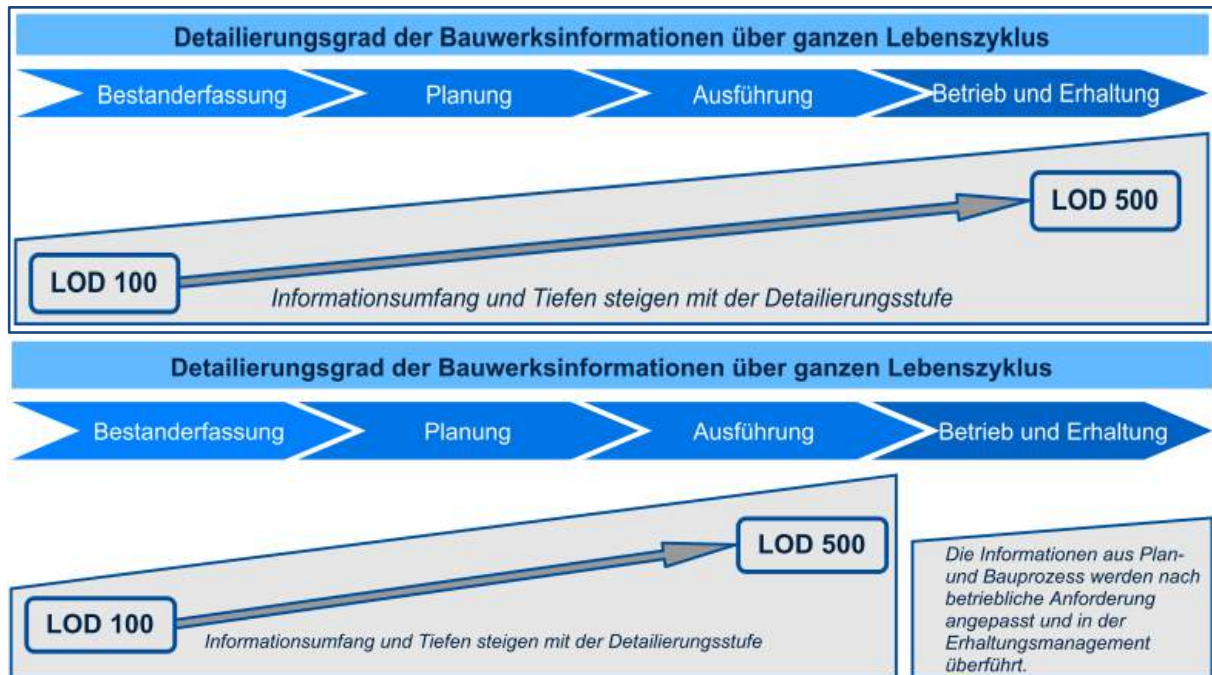
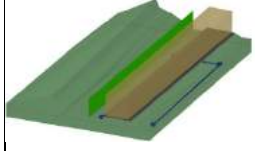
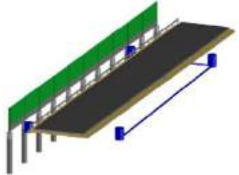
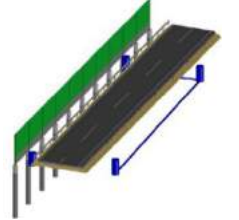
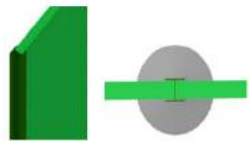


Abbildung 2-4: Detaillierungsgrad der Bauwerksinformation über ganzen Lebenszyklus
(Quelle DEGES LOD-Konzept Grundlagen Version 1.6).

Die Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020 hat eine Handreichung zu den BIM-Fachmodellen und Ausarbeitungsgraden herausgegeben. Die Ausarbeitungsgrade orientieren sich an den deutschen Leistungsphasen (siehe Tabelle 2-1). Der Ausarbeitungsgrad LOD 350 wurde zusätzlich vorgesehen, um die Modellierung von Detailkonstruktionen zu ermöglichen. In den AIA (Auftraggeberinformationsanforderung) sollen die angeforderten Informationen zu den Modellelementen jedoch projektspezifisch festgelegt werden.

Tabelle 2-1: Klassifikation von LOD

(BMVI 2019b).

| LOD | Beschreibung von Modellelement | Leistungsphase | Beispiel |
|---------|--|---|---|
| LOD 100 | Das Modell wird als einfaches Modell mit wesentlichen groben Bauwerksparemtern, wie Fläche, Länge, Breite, Höhe, Lage und Position erstellt und muss noch nicht zwingend einzelne Modellelemente enthalten. | Vorentwurfsplan |  |
| LOD 200 | Die wesentlichen Modellelemente werden im Modell typgerecht als Bauteile oder Bauteilgruppen mit Angaben über Dimension, Form, Lage, geografische Referenz und Mengen sowie den erforderlichen alphanumerischen Informationen modelliert. | Genehmigungsplan |  |
| LOD 300 | Die Modellelemente werden im Modell typgerecht und ausführungsfähig als Bauteile oder Bauteilgruppen mit präzisen Angaben über Dimension, Form, Lage, geografische Referenz und Mengen modelliert. Weitere alphanumerische Informationen werden den Modellelementen hinzugefügt. | Ausführungsplan Ausschreibung Vergabe |  |
| LOD 350 | Die Modellelemente werden im Modell wie in LOD 300 typgerecht und ausführungsfähig als Bauteile oder Bauteilgruppen mit präzisen Angaben über Dimension, Form, Lage, geografische Referenz und Mengen und alphanumerischen Informationen modelliert. | Detailplan |  |
| LOD 400 | Die Modellelemente werden im Modell typgerecht und ausführungsfähig als Bauteile oder Bauteilgruppen mit präzisen Angaben über Dimension, Form, Lage, geografische Referenz und Mengen sowie Montage- und Installationsdetails modelliert. Weitere alphanumerische Informationen wie Fertigungs- und Einbaudetails sowie Herstellerinformationen werden den Modellelementen hinzugefügt. | Ausführungsplan Bauausführung | |
| LOD 500 | Die Modellelemente sind bezüglich Dimension, Form, Lage, geografischer Referenz, Mengen und sämtlicher erforderlicher alphanumerischer Informationen eine überprüfte Abbildung der eingebauten Bauteile. Basierend auf dem „As-built“-Modell wird das Betriebsmodell für den Betrieb und die Unterhaltung des Bauwerks erstellt. | "As-built" Plan; Betrieb / Erhaltung | |

Die Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES) hat für die Einführung von BIM ein eigenes LOD-Konzept fachspezifisch zu Straßenbau und Ingenieurbauwerken

entwickelt. Dabei werden unterschiedliche Ausarbeitungsgrade hinsichtlich Strecke und Ingenieurbauwerke berücksichtigt (siehe Abbildung 2-5). Es werden die geometrischen Darstellungen und semantischen Informationen zu jedem Ausarbeitungsgrades im Detail beschrieben (siehe Abbildung 2-6).

| Zeichnungsmaßstab in 2D | LOD - Strecke | LOD - Ingenieurbauwerk |
|---|---|--|
| <p>Zeichnungsmaßstäbe sind fachlich bestimmten Leistungsphasen zugeordnet.</p> <p>Beispiel hierfür können sein:</p> <p>scale 1:5.000 Konzeptionelle Planung scale 1:1.000 Vorplanung scale 1:500 Entwurfsplanung scale 1:50 Ausführungsplanung scale 1:10 Detailplanung</p> | <p>Example:</p> <p>LOD 100 ≈ Bestand, Konzeptionelle Planung, Vorplanung LOD 200 ≈ Vermessener Bestand, Entwurfsplanung LOD 300 ≈ Ausführungsplanung, Ausschreibung LOD 400 ≈ Bauausführung, Werkplanung LOD 500 ≈ Modell für den Betrieb</p> | <p>Example:</p> <p>LOD 100 ≈ Bestand, Konzeptionelle Planung LOD 200 ≈ Vermessener Bestand, Vorplanung LOD 300 ≈ Entwurfsplanung, Genehmigungsplanung, Ausschreibung LOD 400 ≈ Ausführungsplanung, Bauausführung, Werkplanung LOD 500 ≈ Modell für Betrieb</p> |

Abbildung 2-5: Konventionelle Maßstabanforderungen und LOD-Klassifikationen für Strecke und Ingenieurbauwerk (DEGES 2020a)

| LOD (Level of Development) | | | | | |
|--|--|--|--|--|---|
| LOG (Level of Geometry) | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| | Konzeptionelle Darstellung | Generische (allgemeingültige) Darstellung von Bauwerksteilen: Flügelwand, Überbau etc. | Darstellung der Hauptabmessungen, Materialien und Positionierung | Produktespezifische und ausführungsreife Darstellung | As-built-Modell (Informationsgehalt geeignet für die Bewirtschaftung) |
| LOI (Level of Information) | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| | - IfcProperty Set, - Name, - Objektart, - wichtige Planungs- oder Nutzeranforderungen | - wie LOI100, plus: - zusätzliche Attribute | - wie LOI200, plus: - zusätzliche Attribute | - wie LOI300, plus: - zusätzliche Attribute | - betriebs- und Erhaltungsrelevante Attribute |
| Beispiel zu LOG - Fahrbahn auf Strecke | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| | Kubatur mit regelkonformer Breite | - tatsächliche Breite mit Aufweitung; - Neigung der Fahrstreifen; - Regelneigung der Abkantung bei anbaufreien Straßen; - Schichtaufbau | wie LOG200, plus: - Fahrbahnfugen; - Unterbau | wie LOG300 | wie LOG400 |

Abbildung 2-6: Beispiel zum LOD-Konzept der DEGES (DEGES 2019b).

Um die semantischen Informationen eines Modellelements fachgerecht und einheitlich zu definieren, sind sogenannte Merkmale zur Beschreibung der Eigenschaften vorgesehen. Mit der EN ISO 23386 wird die Definition eines Merkmals und einer Merkmalsgruppe standardisiert. In prEN ISO 23386:2019 deutsche Version wird Merkmal als *„inhärente oder erworbene Eigenschaft eines Datenelements“* definiert. Merkmalsgruppe ist *„Container, der es ermöglicht, die Merkmale vor auszuplanen oder zu organisieren“*. In EN ISO 23386:2020 werden die Attribute zum Definieren und Beschreiben des Merkmals und Merkmalsgruppe



aktualisiert. Für weitere Standardisierung sollten die Merkmale zentral vorgehalten und fachspezifisch gepflegt werden. Am Beispiel Österreich wird aktuell von den beiden großen Infrastrukturbetreibern ASFiNAG (Straße) und ÖBB (Bahn) die Erarbeitung von Merkmalstandards vorangetrieben mit dem Ziel, diese Standards zentral abzulegen und allen Beteiligten im Rahmen von BIM Projekten zur Verfügung zu stellen. Diese Standards müssen dabei verpflichtend angewendet und eingehalten werden. Die Festlegung von Merkmalen und Merkmalsgruppen sowie deren Organisation nach EN ISO 23386 ist nicht ganz trivial. Häufig gibt es verschiedene Möglichkeiten. Wichtig dabei ist, dass die in der EN ISO 23386 vorgesehenen Konzepte bekannt und richtig angewendet werden. Im folgenden Beispiel sind Merkmale und verbundene Merkmale mit ihren Ausprägungen zur Beschreibung von Entwurfsklassen nach den deutschen Richtlinien für die Anlage von Landstraßen aufgezeigt. Die aufgeführten Merkmale können wiederum in verschiedene Merkmalsgruppen aufgenommen werden. Beispielsweise in eine Merkmalsgruppe RAL (Richtlinien für die Anlage von Landstraßen) vom Typ „reference document“, einer Merkmalsgruppe Landstraße vom Typ „class“ oder einer Merkmalsgruppe Entwurfseigenschaften vom Typ „composed property“ (siehe Abbildung 2-7). Des Weiteren wäre es auch möglich, für ein komplexes Merkmal „Entwurfsklasse“ mit tabellenbasierten Ausprägungseigenschaften (Klasse, Planungsgeschwindigkeit, Betriebsform, Querschnitt, Überholabschnitte pro Richtung, Führung Radverkehr) zu definieren. Die EN ISO 23386 ermöglicht sehr viele unterschiedliche Modellierungsmöglichkeiten. Daher ist es zwingend notwendig, dass für eine konkrete Umsetzung in den einzelnen Bereichen eine individuelle Festlegung getroffen wird.

Verbundene Merkmale

Tabelle 9: Entwurfsklassen und grundsätzliche Gestaltungsmerkmale

| Merkmal | Entwurfs-/Betriebsmerkmale | | | | | |
|------------------------|----------------------------|--|-----------------|-------------|--|--|
| | Entwurfs- klasse | Planungs- geschwindigkeit [km/h] | Betriebsform | Querschnitt | gesicherte Überhol- abschnitte pro Richtung | Führung des Radverkehrs |
| Mögliche Merkmalswerte | EKL 1 | 110 | Kraftfahrstraße | RQ 15,5 | ~ 40 % | straßen- unabhängig |
| | EKL 2 | 100 | allg. Verkehr | RQ 11,5+ | ≥ 20 % | straßen- unabhängig oder fahrbahn- begleitend |
| | EKL 3 | 90 | allg. Verkehr | RQ 11 | keine | fahrbahn- begleitend oder auf der Fahrbahn |
| | EKL 4 | 70 | allg. Verkehr | RQ 9 | keine | auf der Fahrbahn |

Merkmal 1 *Merkmal 2* *Merkmal 3* *Merkmal 4* *Merkmal 5* *Merkmal 6*

Abbildung 2-7: Einteilung in Merkmale den Entwurf von Landstraßen nach der deutschen Richtlinie für die Anlage von Landstraßen.

Im Zuge des Forschungsprojektes Verkehrsinfrastrukturforschung VIF 2016, BIM VIF (Hallinger & Silberbauer 2018) wurde für BIM Projekte eine Struktur entwickelt, um die relevanten Elemente einer Verkehrsinfrastruktur abbilden zu können. Für die verschiedenen Bauteile einer Infrastrukturanlage werden die notwendigen Elementklassen definiert, hierarchisch zueinander eingeordnet und die notwendigen Elementeigenschaften (Merkmale) aufgelistet (siehe nachfolgende Abbildung 2-8).

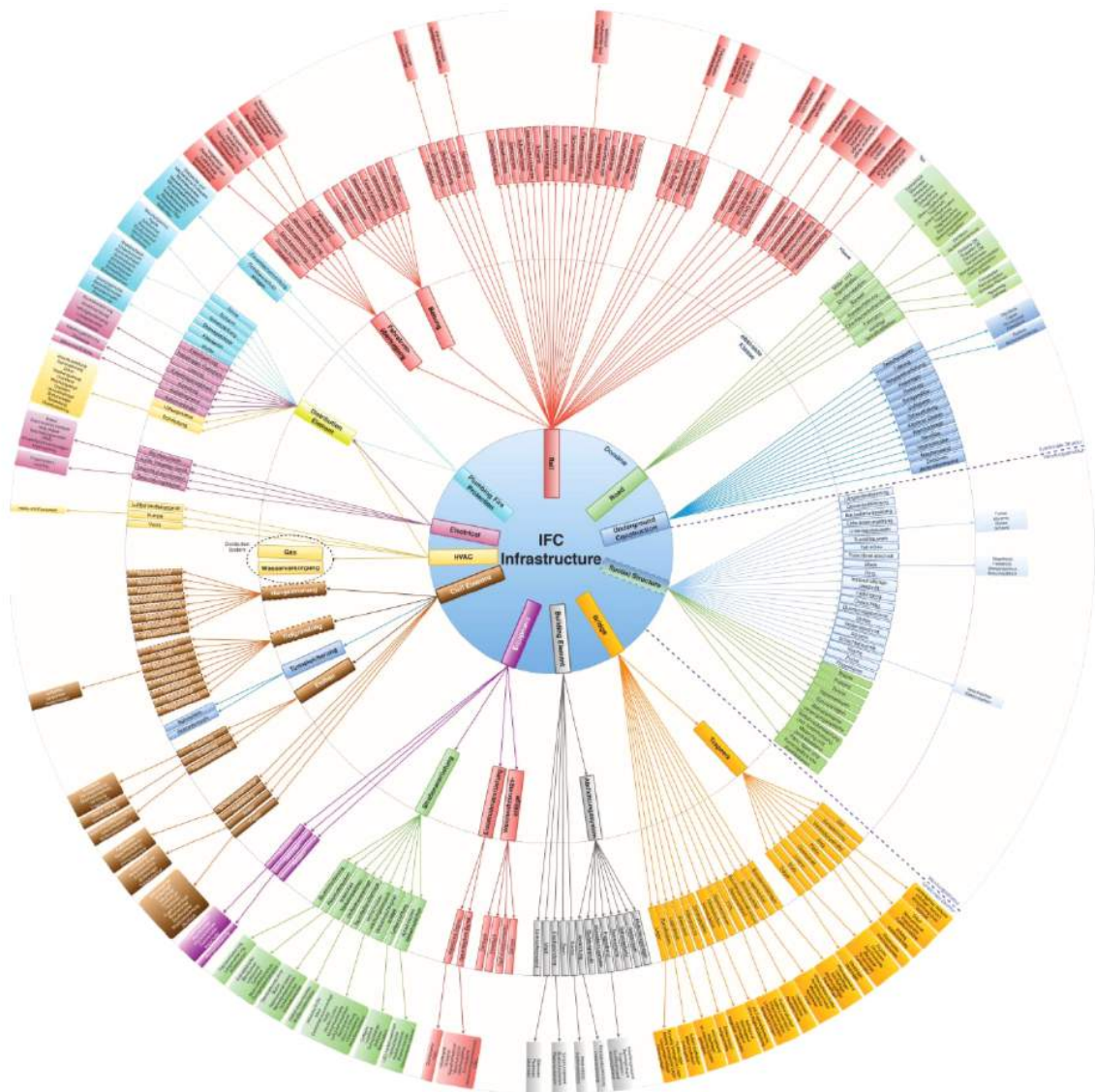


Abbildung 2-8: Übersicht über die Einteilung der Infrastrukturelement und Zuordnung von Merkmalen (Hallinger & Silberbauer 2018).

2.3.4 IT-Landschaft für BIM im Straßenbau

Für die Erstellung von digitalen – im Wesentlichen dreidimensionalen – BIM-Modellen für den Straßenbau, wurden in den letzten Jahren verschiedene spezielle IT-Werkzeuge entwickelt. Insbesondere für die Modellierung des Straßenkörpers unterscheiden diese sich wesentlich von Systemen für die Konstruktion von Gebäuden bzw. anderen eher punktuellen Bauwerken. Die Modellierung einer Straße basiert dabei im Wesentlichen auf einer Trassierung (horizontale und vertikale Linienführung). Mit Hilfe von parametrischen Modellierungskonzepten wird anschließend für einen einzugebenden Straßenaufbau (in Form von



Querprofilen) der eigentliche dreidimensionale Straßenkörper durch das System generiert. Dabei werden geodätische Koordinationssysteme verwendet, da es sich bei Straßen häufig um sehr lange Linienbauwerke handelt. Von großer Bedeutung ist auch die Integration von weiteren Daten aus Geographischen-Informationen-Systemen (GIS). Digitale Geländemodelle mit Böschungskanten können eingelesen und während der Planung berücksichtigt werden. Auch zusätzliche Informationen wie Wasserschutzzonen, Baugrundinformation oder Katasterdaten können auf Basis von bestehenden GIS-Standards integriert werden.

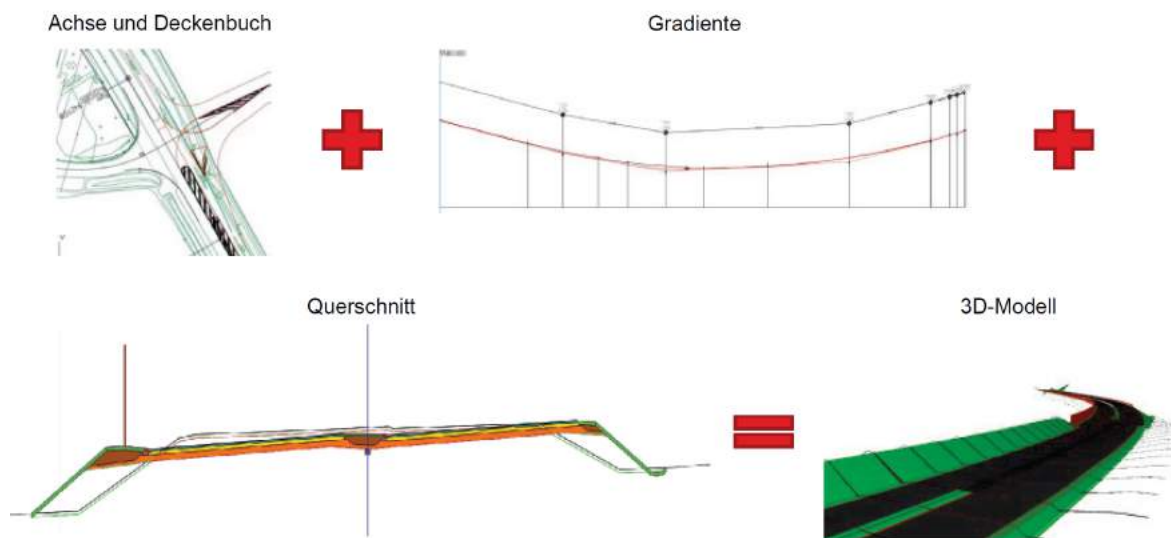


Abbildung 2-9: Typische Modellierungsschritte zur Erzeugung eines Straßenkörpers
(Quelle: Schüßler-Plan GmbH).

Die konstruierten Straßenkörper können dann attribuiert und ausgewertet werden (siehe Abbildung 2-9). Es lassen sich wie bei BIM-Anwendungen im Hochbau Mengen berechnen oder Ausschreibungspositionen erstellen. In der Abbildung 2-10 ist ein Beispiel zur Nutzung eines BIM-Modells für die Abrechnungen im Straßenbau gezeigt.

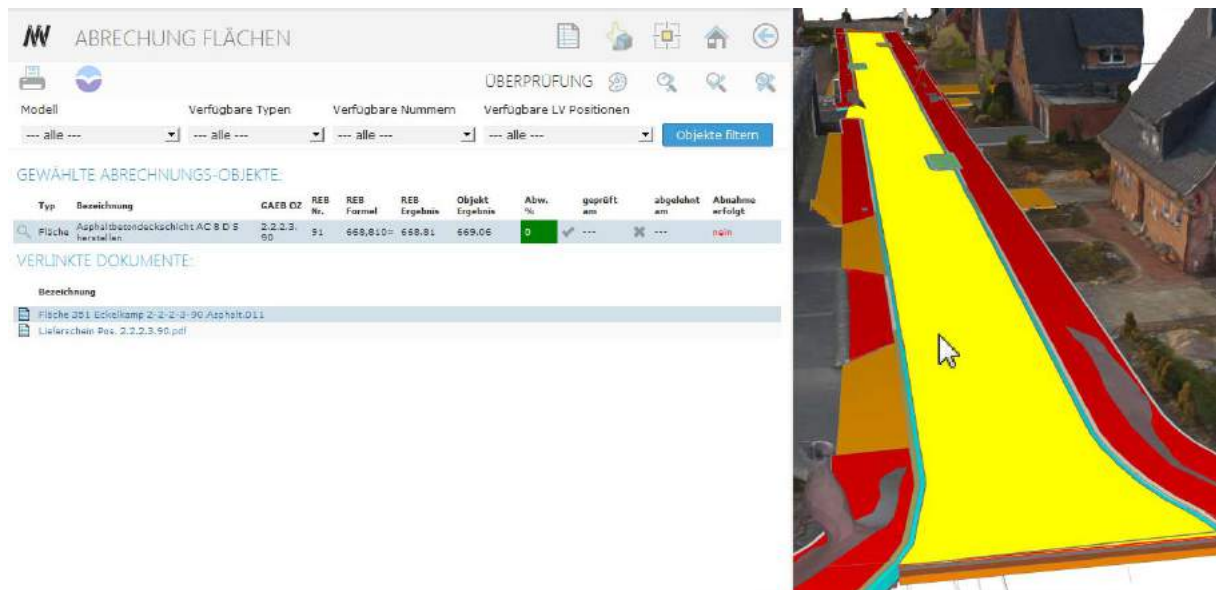


Abbildung 2-10: Darstellung der Position Asphaltdeckschicht im Abrechnungsf formular und in der 3D-Modellansicht (Quelle: Hermann Dallmann Straßen- und Tiefbau GmbH & Co. KG.).

Der Datenaustausch zwischen verschiedenen IT-Systemen für die Planung und Bauausführung im Straßenbau wird aktuell von Projekt zu Projekt noch sehr individuell festgelegt. Entsprechende offene Datenaustauschstandards für BIM-Modell im Straßenbau existieren noch nicht (siehe Kapitel 2.2.5 Open BIM im Straßenbau – IFC-Road). Der vorhandene Datenaustauschstandard IFC (Industry Foundation Classes) kann zwar prinzipiell genutzt werden, jedoch müssen projektspezifische Vorgaben zur Modellierung von Geometrie und Semantik vereinbart werden. Der Austausch der geometrischen Daten zwischen den einzelnen Softwareprodukten gestaltet sich häufig schwierig bzw. ist teilweise nicht möglich. Insbesondere für die Koordination verschiedener Fachplaner (z. B. Objektplaner Strecke, Fachplaner Brücke, Fachplaner Landschaftsbau, etc.) bedeutet dies einen höheren Konfigurationsaufwand und die einzelnen Systeme sollten sehr intensiv getestet werden. In Abbildung 2-11 ist eine IT-Landschaft aus einem deutschen BIM-Projekt im Straßenbau abgebildet. Es handelt sich hierbei ein Projekt der DEGES der sogenannten Havellandautobahn (A 10/A 24) des Landes Brandenburg.

gemeinsame Grundlage für die Projekte IFC-Rail, IFC-Road, IFC-Bridge, IFC-Tunnel (Siehe Abbildung 2-12).

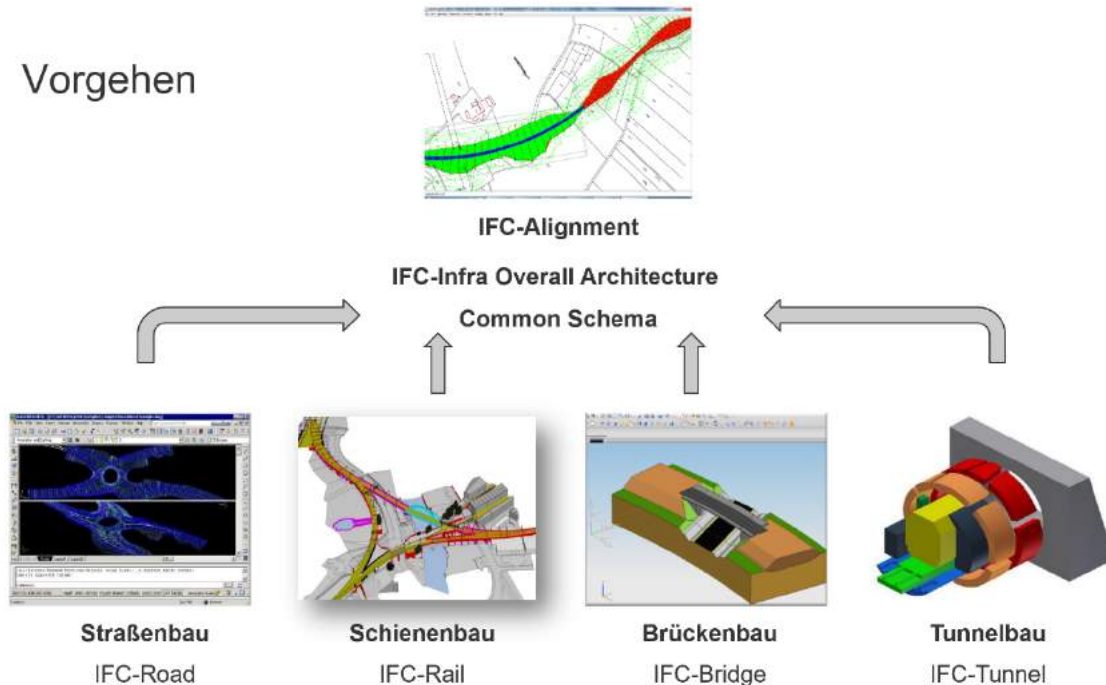


Abbildung 2-12: Trassierung als gemeinsame Basis für Infrastrukturbauwerke
(Quelle: Technische Universität München).

Gemäß dem Entwicklungsplan von buildingSMART International wurde IFC-Bridge zuerst umgesetzt, da deren Elemente und Umfang sich einem Gebäude ähneln. Das Erweiterungsprojekt IFC-Road wurde im Februar 2018 gestartet und unter finanzieller und personeller Beteiligung Schwedens, Finnlands, Frankreichs, Deutschlands und Südkoreas durchgeführt. Wichtige Meilensteine waren die Veröffentlichung der Anforderungsanalyse, des konzeptionellen Modells der IFC-Erweiterung und der technischen Definition der IFC-Schemaerweiterung. Alle Zwischenergebnisse wurden einem international besetzten Expert Panel vorgestellt. Im Jahr 2021 erfolgte ein Harmonisierungsprojekt zwischen den einzelnen Infrastruktur-Erweiterungsprojekten innerhalb von buildingSMART International (bSI). Dieser Schritt war notwendig, um die domänenspezifischen Entwürfe der Teilprojekte „IFC-Road“, „IFC-Rail“, „IFC-Bridge“, „IFC-Tunnel“ und „IFC-Ports and Waterways“ zusammenzuführen, sodass ein gemeinsamer Entwurf entsteht, der die Grundlage für die Version IFC4.3, IFC4.4 und IFC5 bilden wird. Die finalisierten Dokumente sind auf den Webseiten von buildingSMART International zu finden¹.

¹ <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>

Die Straßenbau-bezogene Erweiterung des IFC-Datenschemas wurde im Jahr 2022 in der Version IFC 4.3 veröffentlicht. Es sind Klassen, Objekttypen und Eigenschaften zum Gelände, zum Tiefbau und weitere spezifische Objekte, wie Signalanlagen oder Fahrbahnmarkierung, enthalten.

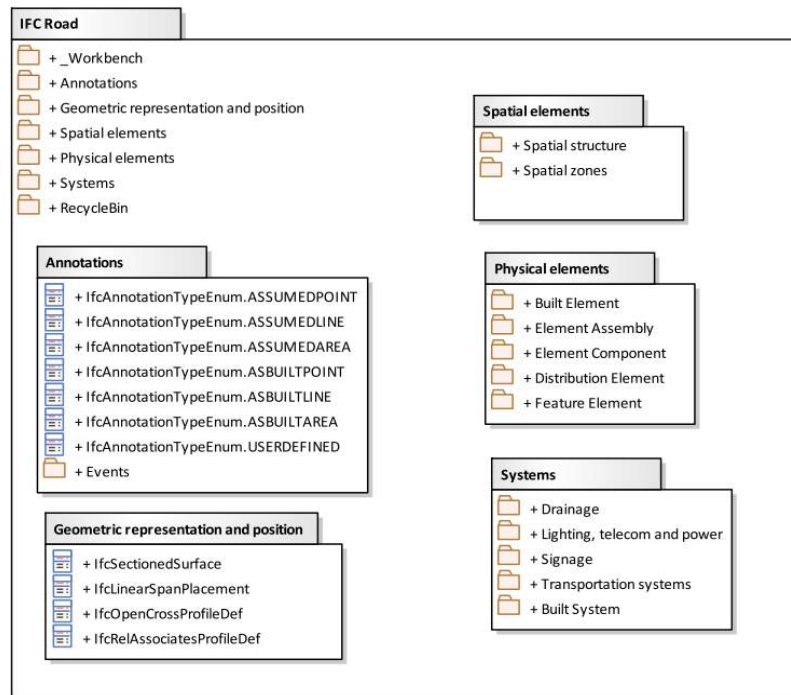


Abbildung 2-13: IFC Road (Quelle: UML Model Report for Road Elements – buildingSMART International).

Zur Beschreibung der Trassierung wird auf den IFC-Alignment Standard zurückgegriffen, der im Rahmen von IFC Version 4.1 veröffentlicht wurde. Darin werden Achse und Gradiente bzw. horizontale und vertikale Linienführung als getrennte 2D-Kurven beschrieben, die durch Überlagerung die resultierende 3D-Kurve ergeben. Das IFC-Datenmodell setzt damit das weltweit etablierte Vorgehen bei der Trassierung von Straßen um. Ausgangspunkt ist die Klasse *IfcAlignment* (semantische Entität), die mit ihrem Attribut *Axis* auf die eigentliche geometrische Kurve vom Typ *IfcAlignmentCurve* verweist. Die Klasse *IfcAlignmentCurve* (Trassierungskurve) ist eine Spezialisierung der Klasse *IfcBoundedCurve*, deren Superklasse wiederum die allgemeine Kurve *IfcCurve* ist. Die *IfcAlignmentCurve* ist, wie im Straßenbau üblich, zweigeteilt: in Achse (*IfcAlignment2DHorizontal*) und Gradiente (*IfcAlignment2DVertical*). Beide Teile bestehen aus einer Aneinanderreihung von Segmenten (*IfcAlignment2DSegment*), deren Attribute die Geometrie genau definieren (wie Länge, Winkel, Startpunkt, Radien, Biegerichtung und ggf. Klothoidenparameter). Das IFC-Datenmodell für Beschreibung der Geometrie von Achse und Gradiente ist in Abbildung 2-14 dargestellt.



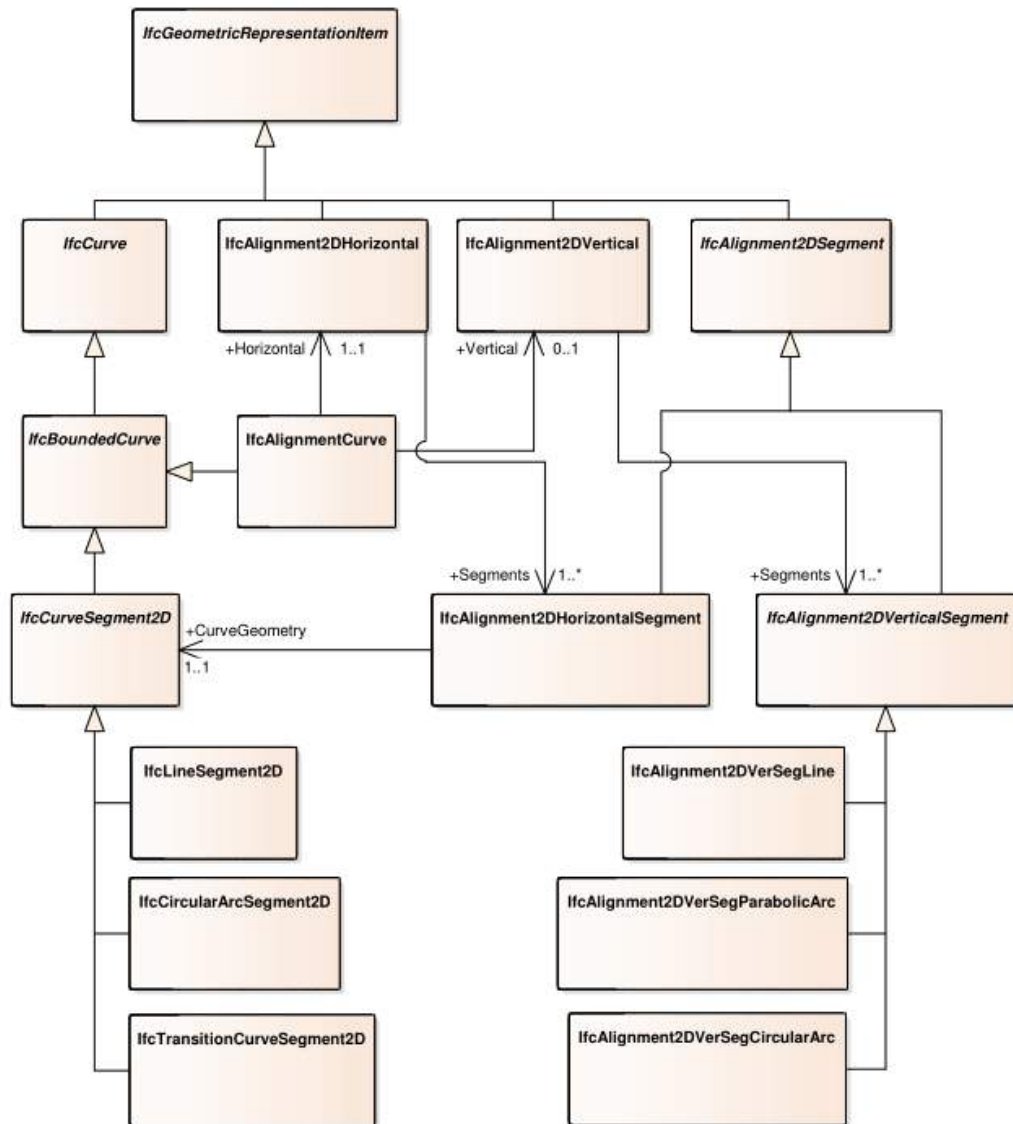


Abbildung 2-14: Modellierung der Geometrie von Achse und Gradiente mit IFC-Klassen
(Quelle: Technische Universität München).

Die Abbildung 2-15 zeigt einen Abschnitt einer Achse zusammen mit eingezeichneten Gradientenzeigern.





The diagram illustrates the structure of IFC Facility Parts, showing a hierarchy of objects and their relationships.

IFC Object Types Legend:

- Entity (White box)
- Predefined Type (Light Blue box)
- PT Container (Light Green box)
- Select (Orange box)
- Enumeration (Light Green box)
- Property Set (Pink box)
- Quantity Set (Light Purple box)
- PEnum Type (Light Blue box)
- Virtual Entity (Light Blue box)
- Data Type (Yellow box)

PSM Concept State Legend:

- Implemented (White box)
- Proposed (Red border box)
- Proposed Modification (Blue border box)
- Deprecated (Orange border box)
- Approved (Green border box)
- Candidate (Grey border box)

Diagram Structure:

- IFCProductExtension: IFCFacilityPart** (Entity, Proposed) is associated with **IFCFacilityPartTypeSelect** (Select, Proposed) via a **PredefinedType** relationship.
- IFCFacilityPartTypeSelect** is associated with **IFCRoadPartTypeEnum** (PT Container, Approved) via a **Substitute** relationship.
- IFCRoadPartTypeEnum** is associated with several predefined types: **CARRIAGEWAY**, **ROADWAYPLATEAU**, **TRAFFICLANE**, **CENTRALRESERVE**, **SHOULDER**, **SIDEWALK**, **ROADSIDE**, and **ROADSIDEPART**.
- IFCRoadPartTypeEnum** is also associated with **LAYBY** and **TRAFFICISLAND**.
- IFCRoadPartTypeEnum** is associated with **HARDSHOULDER** and **SOFTSHOULDER**.
- IFCRoadPartTypeEnum** is associated with **PASSINGBAY**, **BUS_STOP**, **PARKINGBAY**, **CENTRALISLAND**, and **REFUGIEISLAND**.

In Abbildung 2-17 ist der Aufbau einer Straße (IfcRoad) gezeigt, welcher sich aus mehreren Schichten zusammensetzt (IfcCourse). Die können mit PredefinedType näher spezialisiert

werden, zum Beispiel BEARING für eine Tragschicht oder WEARING für eine Deckschicht. Es können auch Streifen und damit verbundene Lichtraumprofile mittels IfcSpatialZone mit PredefinedType RESERVED modelliert werden.

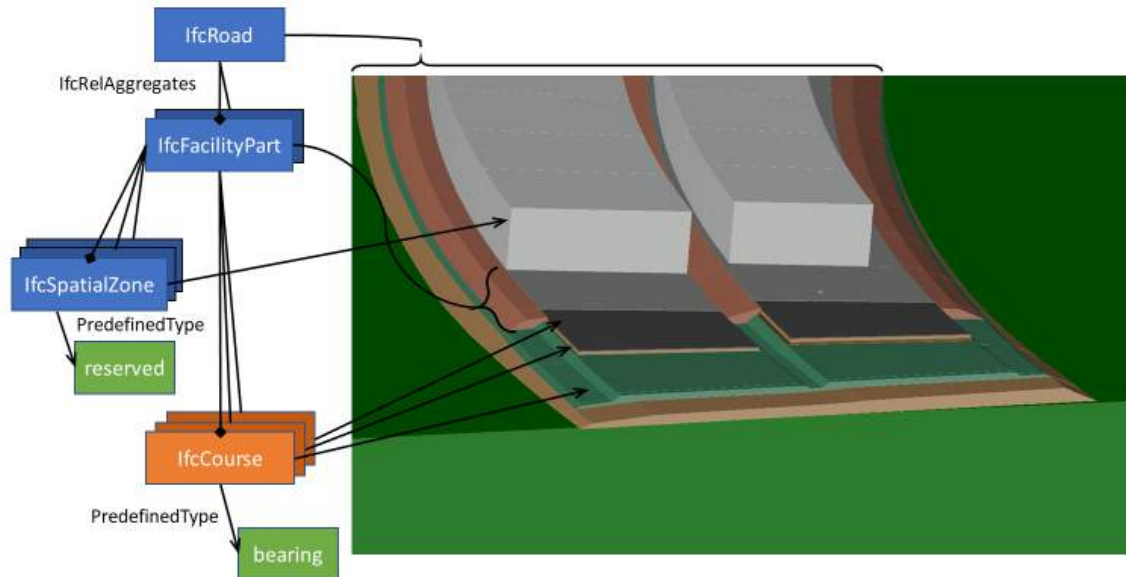


Abbildung 2-17: Aufbau einer Straße mit Klasse aus dem IFC-Road Standard

Mit den Konzepten von IFC-Road können auch komplexe Kreuzungssituationen abgebildet werden. In Abbildung 2-18 ist eine innerstädtische Kreuzungssituation abgebildet. Die Streifen werden mithilfe der räumlichen Struktur beschrieben. Es können auch besondere Streifenarten, wie ein Mittelstreifen, eine Busspur, ein Gehweg oder eine Linksabbiegespur modelliert werden. Die semantische Bezeichnung der verschiedenen Streifen erfolgt über die Wahl passender PredefinedType der Entität **IfcFacilityPart** für die laterale Zerlegung des Straßenraums. Die Möglichkeiten können der Abbildung 2-17 entnommen werden. Für das Beispiel relevanten Typen sind **CARRIAGEWAY** bzw. **TRAFFICLANE** für die Fahrstreifen, **CENTRALRESERVE** für den mittleren Streifen, **BUS_STOP** für die Bushaltestelle und **SIDEWALK** für den Gehweg.

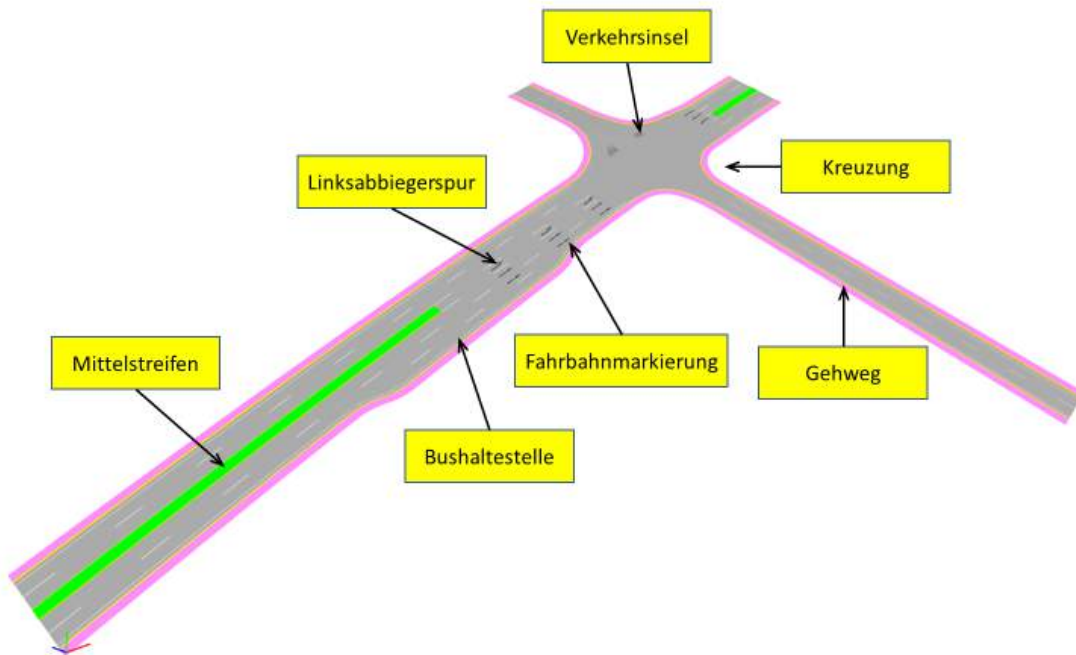


Abbildung 2-18: Städtische Kreuzung mit eingezeichneten Komponenten
(Quelle: Technische Universität München).

Die Fahrbahnmarkierung ist ein wesentlicher Bestandteil jeder Straße. Vor allem in der städtischen Umgebung ist die Straßenbeschriftung von höher Bedeutung, da sie einen reibungslosen Verkehrsablauf unterstützt und dadurch ihre eindeutige Beschreibung wichtig ist. Der neue Schemaentwurf sieht eine Reihe von neuen *PredefinedTypes* für die schon bestehende Entität *IfcSurfaceFeature* vor. So sollen Pfeile, Texte und andere Symbole mit *PredefinedType* *SYMBOLMARKING*, alle linienartigen Markierungen mit *PredefinedType* *LINEMARKING* und die Sperrmarkierungen mit dem *PredefinedType* *HATCHMARKING* modelliert werden. Die Straßenmarkierungen, die nicht nur visuell, sondern auch akustisch auf den Verkehr einwirken, sollen mit *PredefinedType* *RUMBLESTRIP* versehen werden. Auf Abbildung 2-19 sind die Pfeile dementsprechend mit der Objekten *IfcSurfaceFeature* mit dem *PredefinedType* *SYMBOLMARKING* abgebildet.

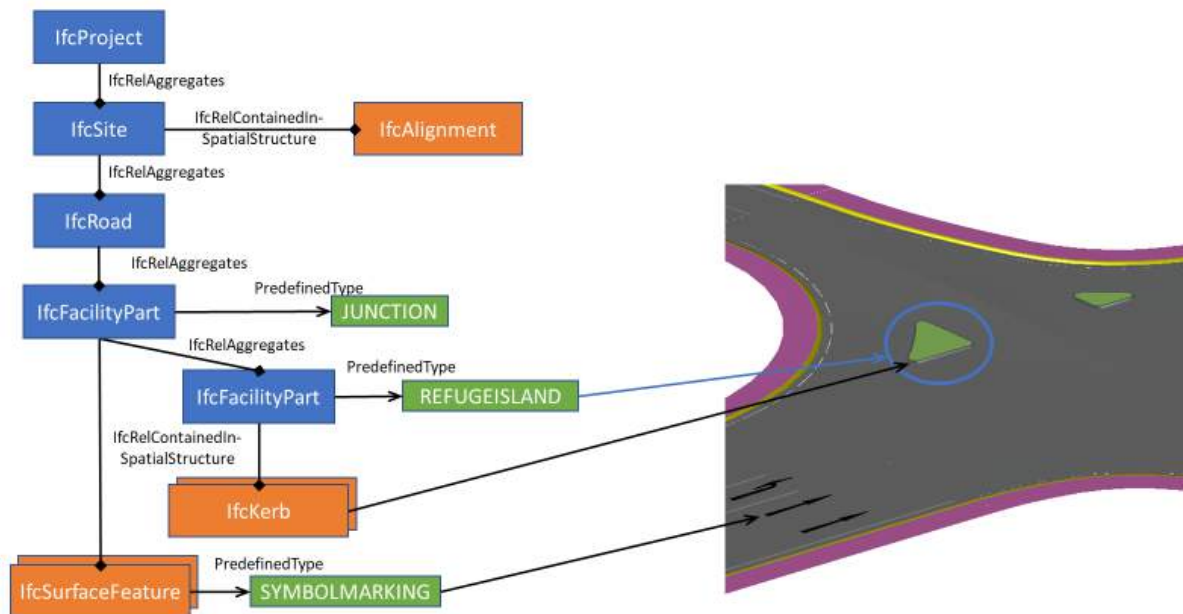


Abbildung 2-19: Modellierung von Bordsteinen der Verkehrsinsel und Fahrbahnmarkierungen
(Quelle: Technische Universität München).

Weitere Informationen zu IFC Road können den Webseiten von buildingSMART International entnommen werden.

2.3.6 Einsatz der BIM-Methode in Straßenbauprojekten

Der Einsatz von BIM im Straßenbau fokussiert aktuell, wie auch im Hochbau, auf die Phasen der Planung und teilweise der Bauausführung, wobei am Beispiel von Österreich der Informationsgehalt in den BIM Projekten in Richtung Infrastrukturerhaltung und -betrieb erweitert und vorangetrieben wird. Der Umfang der BIM-Anwendung wird in der Regel schon in den Ausschreibungen mit Hilfe der Informationsanforderungen festgelegt. Hierbei werden verschiedene Anwendungsfälle vorgegeben, die im Anschluss im BIM-Abwicklungsplan (BAP oder englisch BEP = BIM Execution Plan) konkretisiert werden. In Deutschland werden in der Regel folgende Anwendungsfälle im AIA definiert und beauftragt:

- Bestandsmodellierung
- Variantenuntersuchung
- Koordination der Fachgewerke
- Ableitung von 2D-Plänen
- Bauablaufsimulation
- Mengenermittlung



- Kostenermittlung
- Erstellung von Leistungsverzeichnissen
- Mängelmanagement
- Baufortschrittskontrolle

Für Straßenprojekte in Österreich werden in der Regel die folgenden Anwendungsfälle im AIA definiert:

| | Nr. | Anwendungsfall |
|-----|-----|---|
| 3D | 1 | Fachmodelle auf Basis der Machbarkeitsstudie |
| | 2 | Fortschreibung der 3D-Fachmodelle |
| | 3 | Bestandserfassung |
| | 4 | Planungsvariantenuntersuchung |
| | 5 | Bemessung und Nachweisführung |
| QK | 6 | Defizitanalyse |
| | 7 | Koordination der Fachmodelle |
| | 8 | Koordinierung am Gesamtmodell – Kollisionsprüfung |
| | 9 | Änderungsmanagement |
| DOK | 10 | Planableitung vom Modell |
| | 11 | Visualisierung (wenn erforderlich) |
| | 12 | Bauwerksdokumentation |
| 4D | 13 | Terminplanung der Ausführung |
| | 14 | Bauablaufplanung |
| 5D | 15 | Mengenermittlung |

Abbildung 2-20: Typische Anwendungsfälle Straßenprojekte (Quelle: Standard AIA ASFiNAG).

Für den Infrastrukturbau in Deutschland wurde im Zuge der Einführung von BIM einzelne Beschreibungen zu den verschiedenen Anwendungsfällen erarbeitet. Diese Beschreibungen geben einen groben Überblick zu den Aufgaben, beteiligten Akteuren und zu verarbeitenden BIM-Fachmodellen. Zur einfachen Nutzung von Anwendungsfällen wurden sogenannte Steckbriefe erarbeitet (siehe Abbildung 2-21).

Abschnitt II: Steckbriefe

ANWENDUNGSFALL 1

Bestandserfassung

| Leistungsphasen gem. HOA | | | | | | | | | |
|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Betrieb |
| | | | | | | | | | |

Definition

Erfassung der wesentlichen Aspekte des Bestandes durch ein **geeignetes Aufmaß** und Überführung in ein Bestandsmodell. Die Erzeugnisse dienen dabei keinem Endzweck, sondern werden **vorhandenen Plänen, Geodaten, Messungen, geodätischen Erfassungen wie Tachymetrie, Laserscanning, Photogrammetrie** oder einer Kombination daraus entnommen. Dieser Anwendungsfall liefert digitale Planungsgrundlagen und ist somit eine wichtige Voraussetzung für die Durchführbarkeit und Qualität der nachfolgenden Anwendungsfälle.

Nutzen

Welcher Mehrwert ist durch die Umsetzung des Anwendungsfalles zu erwarten?

- **Reduzierung von Risiken** durch Referenzieren des Projektkontextes in der Planungsphase und Erkennen von Schnittstellen zwischen Bestand und Neubau
- **Unterstützung von Entscheidungsprozessen** des Auftraggebers im Projektverlauf
- **Wiederverwendung** und/oder Fortschreibung von Daten zur Nachverfolgung des Baufortschritts sowie für die Nutzung in Betrieb und Unterhaltung
- **Kostenreduktion** für erforderliche Bestandserfassung zukünftiger (langfristiger) Bauprojekte oder bei Umbau und Bestandserhaltung

Planungsgrundlage und Informationsbasis für den weiteren Projektverlauf

- **Modelle werden in der Regel zunächst eher vereinfacht erstellt.**
- **Weitere Detaillierung der Modelle im Projektverlauf – je nach Anforderung – möglich**

Implementierungsvoraussetzungen

Was ist bei der Umsetzung des Anwendungsfalles insbesondere zu berücksichtigen?

- **Auftraggeber**
- **Spezifikation** in Inhalt, Struktur und Umfang der 3D-Bestandsmodelle durch den Auftraggeber unter Berücksichtigung geltender Vorgaben als Teil der AIA notwendig

- **Schulungsaufwand** für die Anwendung von Werkzeugen zur Beschreibung und Prüfung der 3D-Bestandsmodelle

Auftragnehmer

- **Erwerb von Kenntnissen und Techniken** je Auftragnehmer zur Weiterverarbeitung von erfassten Bestandsdaten und deren Überführung in Fachmodelle
- **Ggf. Anschaffung BIM-fähiger Softwareprodukte** (z.B. zur Überführung vorhandener Bestandsinformationen in entsprechende Fachmodelle)

Umsetzung

Wie wird der Anwendungsfall umgesetzt?

1. Definition der erforderlichen Fachmodelle und erhaltener Daten zur Bestandserfassung
2. Aufnahme der geometrisch notwendigen Informationen in der erforderlichen Genauigkeit
3. Zusammenführung der Fachmodelle in einem einheitlichen geodätischen Bezugssystem
4. Überführung in ein strukturiertes BIM-Modell mit zusätzlichen Informationen als hochwertige

Daten, Modelle & Formate

Welche gängigen Daten, Modelle und Formate können für diesen Anwendungsfall relevant sein?

- Punktwolken (LAS, E57)
- GIS-Daten (LANDXML, CITYXML, NGS)
- Bestandspläne (PDF, DXP)
- Fotos (TIFF, BMP, GEOTIFF)
- Toposymbole (IFC, OGS18A)
- Digitales Geländemodell (ASCII, IFC, LANDXML, OGS18A)
- Baugrundmodell (GEOUNDOXML, AGS)
- GIS-Modell (SML)

Projekt-/Praxisbeispiele

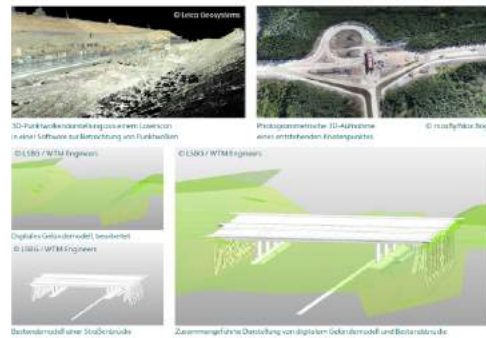


Abbildung 2-21: Steckbrief des Anwendungsfalles Bestandserfassung (BIM4INFRA 2020).

Eine vergleichbare Zielsetzung zur Beschreibung der Anwendungsfälle wird mit dem Use Case Management von bSI unter <https://ucm.buildingsmart.org/> verfolgt.

Im Rahmen der BIM-basierten Umsetzung der einzelnen Anwendungsfälle werden verschiedene Fachmodelle erstellt, ergänzt oder genutzt. Die einzelnen Fachmodelle sind noch nicht eindeutig standardisiert. Ein erster Versuch wurde für Deutschland im Rahmen von BIM4INFRA2020 unternommen. Hierzu wurde eine entsprechende Handreichung herausgegeben. Speziell für den deutschen Straßenbau gibt es auch Vorgaben der DEGES, welche Fachmodelle in der Regel angefordert werden und wie diese wiederum in Teilmodelle zu gliedern sind (siehe Abbildung 2-22).

In den letzten Jahren wurden im Rahmen von verschiedenen BIM-Projekten umfangreiche Erfahrungen zur Nutzung von BIM im Straßenbau gesammelt. Der Fokus lag insbesondere auf der Planungsphase. Wenige Projekten erprobten auch den Einsatz von BIM während der Bauausführung. Hier wurde häufig ein BIM-basiertes Mängelmanagement angewendet. In Deutschland gibt es seit Ende 2019 weitere Bestrebungen die Anwendung von BIM im Straßenbau weiter zu standardisieren. Hierzu gehört eine Detaillierung der Anwendungsfälle,

eine genaue Beschreibung der Fach- und Teilmodelle und letztendlich sehr konkrete Informationsanforderung, die im Rahmen der AIA ausgeschrieben werden. Auch in den nächsten Jahren ist geplant, dass die Einführung im Wesentlichen die Phasen Planen, Bauen und im geringen Umfang auch die Übergabe in den Betrieb unterstützt.

In Österreich werden von der ASFiNAG im Moment fünf Projekte (Stand 08/2020) als Pilotprojekte in der BIM-Methode umgesetzt, dabei handelt es sich um vier Straßenabschnitte in der Planung bzw. Ausführung, und der Planung von einer Parkplatzanlage (Stellplätze).

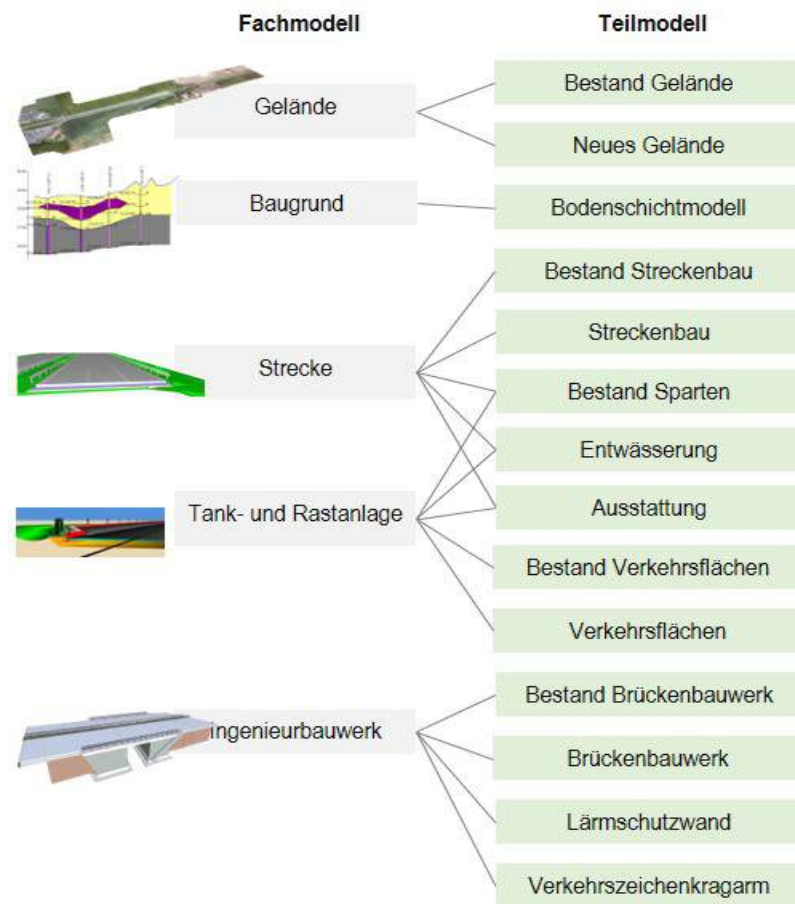


Abbildung 2-22: Fach- und Teilmodelle im Rahmen der Havellandautobahn (Quelle: IB&T Software GmbH).

2.3.7 Aktuelle Entwicklung für den Betrieb von Straßeninfrastrukturen

Die Bedeutung der Überführung eines Projekt-Informationsmodells (PIM) in ein Asset-Informationsmodell (AIM) wird in EN ISO 19650-1 beschrieben. Die EN ISO 19650-Reihe liefert Informationen und Vorgaben für die folgenden Aspekte:

- Klare Definitionen der Informationen, die der Besteller oder der Eigentümer des Assets benötigt, sowie Standards, Methoden, Prozesse, Fristen und Protokolle, die seine Erstellung und Überprüfung regeln.
- Effizienter und effektiver Informationsaustausch zwischen den Projektbeteiligten während des Lebenszyklus, insbesondere innerhalb der Projektabwicklung und zwischen Bereitstellungsphase und Betriebsphase.

Das folgende Diagramm (siehe Abbildung 2-23) hilft bei der Umsetzung verschiedener Möglichkeiten zur Definition von Informationsanforderungen zum Projekt und dem Betrieb:

- Projektrealisierung ohne Berücksichtigung des Asset-Managements: PIR-EIR-PIM
- Asset-Management ohne Überlegungen zur Projektdurchführung: OIR-AIR-AIM
- Projektrealisierung und Asset-Management: OIR-AIR-PIR-EIR-PIM-AIM

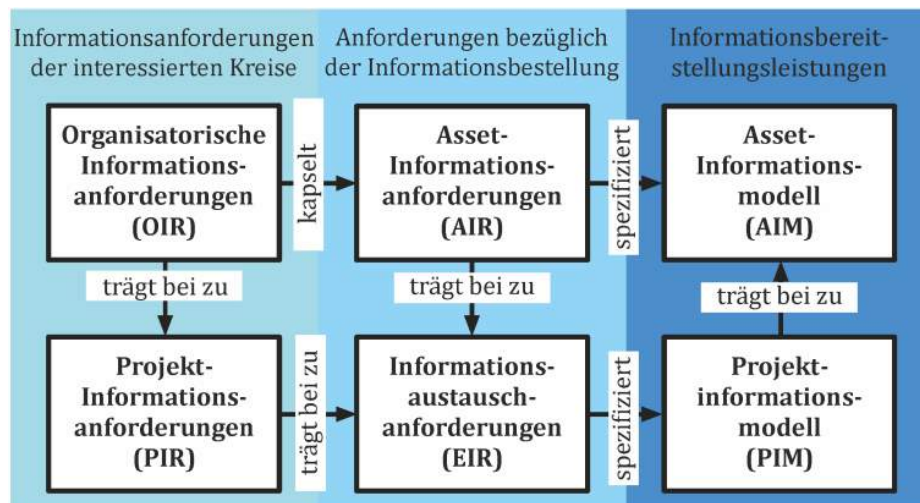


Abbildung 2-23: Relationships between information requirements and information models (DIN 2019b).

Die Verknüpfung von BIM und Asset-Management heißt im Wesentlichen, dass die notwendigen Informationen für das Asset-Management von Anfang an in den Informationsanforderungen beschrieben werden soll. Hierzu ist eine genaue Analyse erforderlich, um festzustellen, welche Informationen aus der Bauphase im Asset-Management wirklich benötigt werden. Nur wenn die notwendigen Informationen während der Planungs- und Bauphase gesammelt werden und in Betriebsphase übergeben werden, können diese Informationen effizient und problemlos weiterverarbeitet werden.

Daher sollten bei der Verknüpfung von BIM und Asset-Management im ersten Schritt die AIR auf Basis der bestehenden Asset-Informationssysteme definiert und dann in das EIR integriert werden. Auf einer abstrakten Ebene ist die Definition von Informationsanforderungen problemlos möglich. Dazu kann die EN ISO 23386 verwendet werden. Die benötigten

Informationen werden in Form von Merkmal und Merkmalsgruppe organisiert. Allerdings wird keine konkrete Nutzung eines Datenformats vorgegeben. Selbstverständlich sollten OIR, AIR und PIR aufeinander abgestimmt sein, d. h. es sollten die gleiche Terminologie, Definitionen, Strukturen und Klassifikationen verwendet werden. Dies ist jedoch eine große Herausforderung, da es oft eine bestehende IT-Umgebung gibt und die verschiedenen Systeme nicht immer interoperabel sind. Nach dem Abschluss der Bauausführung werden bestimmte Informationen aus dem PIM an das AIM übergeben. Des Weiteren wird das PIM archiviert und steht während des Lebenszyklus des Infrastrukturbauwerks als Informationsquelle zur Verfügung. Während des Betriebs werden die Informationen im AIM weiter gepflegt, welche jedoch auch im PIM meistens vorhanden sind.

Im Rahmen eines deutschen Forschungsprojektes BIM4ROAD der BAST (König et al. (2020)) wurden Konzepte zur Anforderung und Nutzung von Informationen aus der Bauphase für das Erhaltungsmanagement untersucht. Der Fokus lag hierbei auf der Strukturierung von BIM-Modellen und Integration von baustofftechnischen Eigenschaften. Das im Rahmen des Projekts definierte Datenmodell orientiert sich am internationalen Datenaustauschstandard Industry Foundation Classes (IFC) und den vorhandenen Möglichkeiten des deutschen Objektkatalogs für das Straßen- und Verkehrswesen (OKSTRA) (BMVI 2018a). Das Datenformat erlaubt die dreidimensionale Beschreibung von Bauwerken und ihrer Komponenten und die Zuordnung von fein aufgelösten semantischen Informationen.

Auf der Basis des internationalen Datenmodells wurden nationale (deutsche) Merkmale definiert. Diese umfassen zum einen Merkmale, die detailliert die einzelnen Aufbauschichten beschreiben und im Rahmen eines sogenannten As-built-Modells beim Abschluss einer Baumaßnahme übergeben werden sollten. Zum anderen werden Merkmale definiert, die die Ermittlung von Zustandsgrößen und die daraus berechneten Zustandswerte wiedergeben. Zudem werden Hinweise gegeben, wie die räumliche Struktur des IFC-Modells eingesetzt werden kann, um die Lage und Ausdehnung von Erfassungsabschnitten zu beschreiben (siehe Abbildung 2-24).

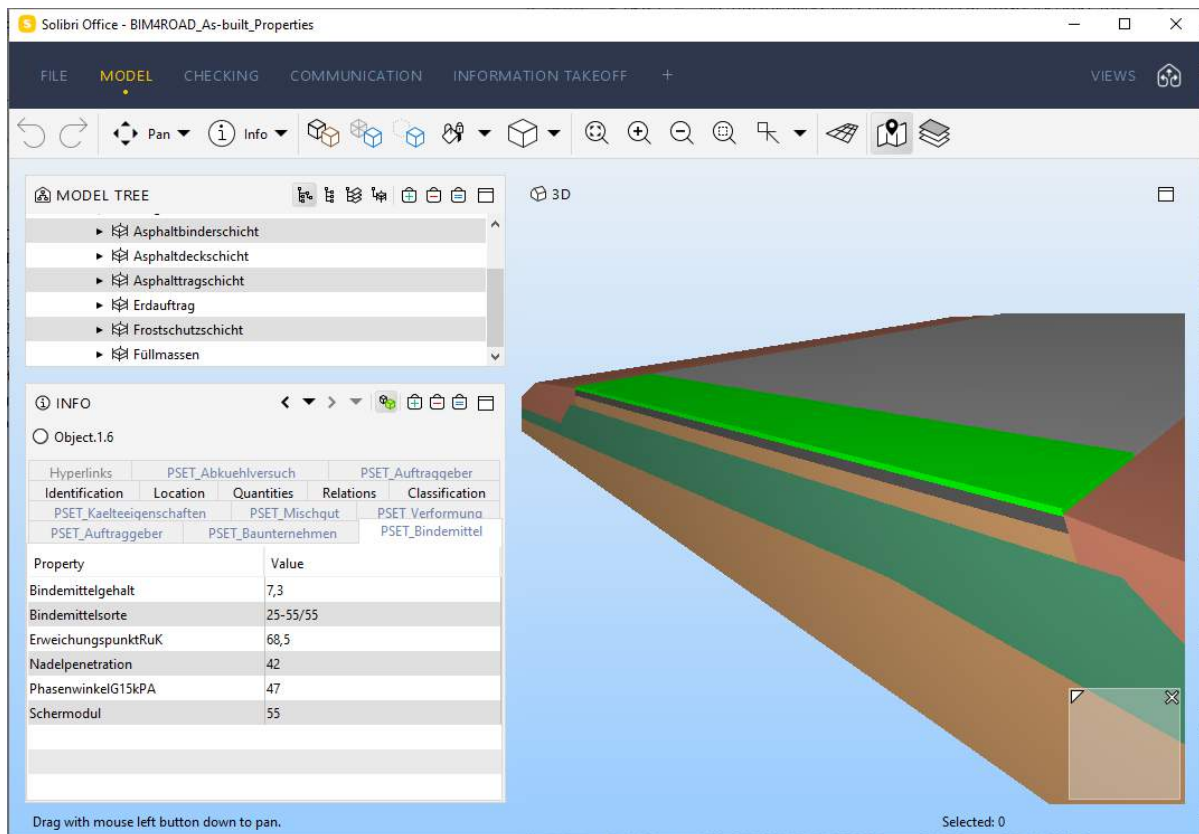


Abbildung 2-24: PropertySet zu den Bindemittleigenschaften der Asphaltdeckschicht im Solibri-Model-Viewer (Quelle: Ruhr-Universität Bochum)

Der entwickelte Ansatz wurde zum einen anhand eines fiktiven Beispiels eines kurzen geraden Straßenabschnitts und zum anderen durch Anwendung auf einen realen Abschnitt der Autobahn A40 validiert. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Methodik prinzipiell funktioniert, gleichzeitig aber die erforderlichen Daten heute noch nicht in vollem Umfang verfügbar sind. Die größte Herausforderung liegt im verbindlichen Einfordern von As-built-Modellen einschließlich der definierten Merkmale beim Abschluss der Bau- bzw. Instandhaltungsmaßnahme. Nur dann kann die gewünschte Datenkontinuität gewährleistet werden und Informationen aus der Bauausführung für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen herangezogen werden.

Heutzutage sind die meisten IT-Systeme zur Verwaltung des AIM nicht in der Lage BIM-Modelle direkt zu verwalten. In vielen Fällen ist eine Erweiterung und komplette Neuentwicklung nicht möglich bzw. nicht gewünscht. Wenn jedoch für die Erhaltungsplanung einer Straße aktuelle Informationen aus AIM in Form von BIM-Modellen verwendet werden sollen, müssen diese Informationen erst mit den BIM-Modellen verknüpft werden. Hierbei handelt es sich jedoch in der Regel um eine temporäre Anreicherung der entsprechenden BIM-

Modelle. Die Pflege der Asset-Informationen sollte ausschließlich den dafür vorgesehenen Systemen erfolgen.

Die Verknüpfung und Überführung unterschiedlicher Datenquellen, Datenmodelle oder Datenformate ist eine bekannte Herausforderung, welches nicht allgemeingültig gelöst werden kann. Es muss immer geprüft werden, ob Datenmodelle und Datenformate angepasst werden können, oder ob eine zusätzliche Schnittstelle benötigt wird.

Heutzutage werden häufig Ontologien bzw. sogenannte Linked Data Konzepte für die Zusammenführung und den Abgleich von Definitionen oder Begriffen verwendet. Für jede Datenquelle kann eine eigene Ontologie definiert werden. Die speziellen Ontologien können dann direkt oder über eine Meta-Ontologie verknüpft werden. Auf diese Weise kann die Terminologie verwendet werden, wie sie in den jeweiligen Systemen vorhanden ist. Unter Verwendung der verknüpften Ontologien kann anschließend eine konkrete Abbildung oder Transformation der Daten durchgeführt werden. Mit Hilfe einer spezifischen Software und der Meta-Ontologie können Daten von einer Datenquelle in eine andere Datenquelle übertragen werden. Dies wiederum kann direkt auf Systemebene oder unter Verwendung von Datenformaten erfolgen.

Zusammengefasst müssen Regeln für die Abbildung und Überführung der Daten entwickelt werden, wenn bestehende Systeme und Datenformate verwendet werden sollen. Dazu ist es notwendig, dass die zugrundeliegenden Datenmodelle abstrakt beschrieben werden. Auf dieser abstrakten Ebene kann eine Verknüpfung realisiert werden. Auf diese Weise entsteht eine Middleware zwischen zwei Systemen, die noch nicht miteinander verknüpft sind (siehe Abbildung 2-25). Die Middleware umfasst somit die Ontologien, die Verknüpfungsregeln und die Schnittstellen für den Im- und Export der Daten.

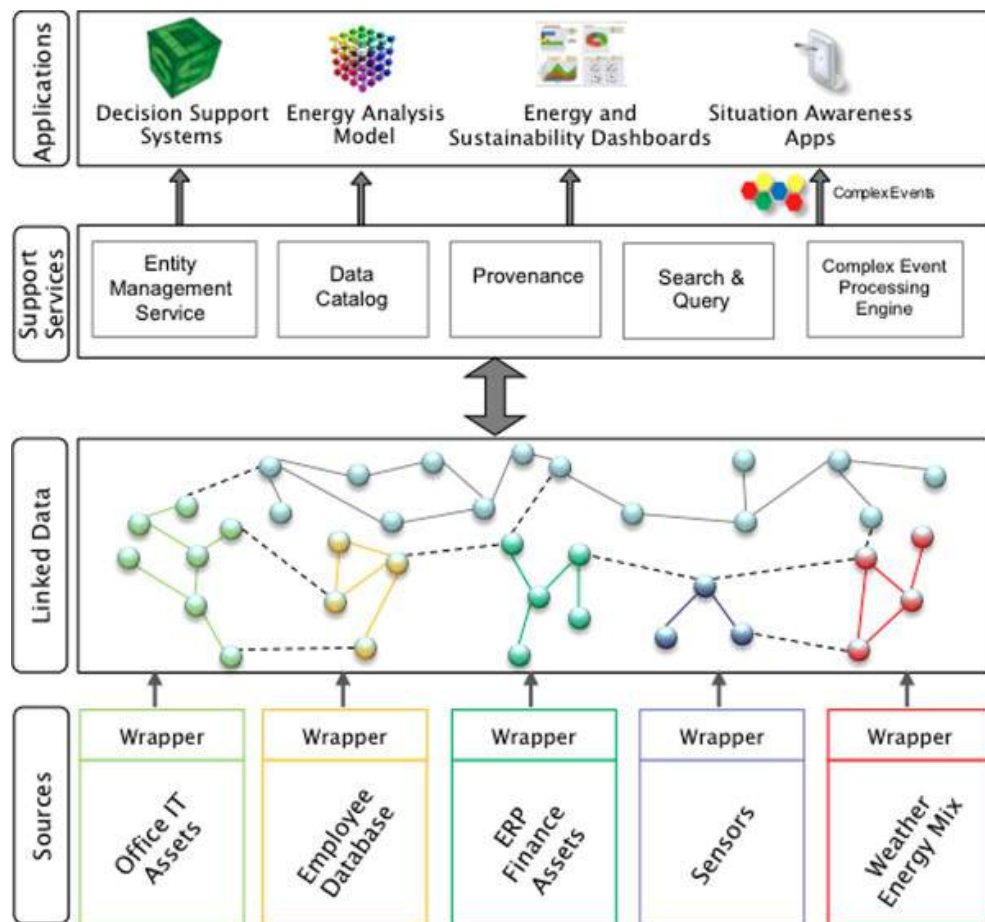


Abbildung 2-25: Beispiel für ein Linked Data Konzept auf Basis im Bereich der Energieanalyse von Gebäuden (Curry et al. (2013)).

Alternativ kann auch AIM über eine Referenzdatenbank gespeist werden, wie dies von Bernard, Marshal & Hajdin (2015) aufgezeigt wurde.

2.4 Stand der Technik im Management der Straßeninfrastruktur

2.4.1 Einleitung

Das Management der Straßeninfrastruktur umfasst deren gesamte Lebensdauer mit den dazugehörigen Fahrbahnabschnitten, Ingenieurbauwerken bzw. Kunstbauten, technischen Anlagen, z. B. Werkleitungen, Signalisation oder Nebenanlagen. Dabei unterscheidet man für unterschiedliche Objekte der Straßeninfrastruktur die Lebensphasen Projektierung, Bauausführung, Betrieb, Überwachung und Erhaltungsplanung (vgl. Abbildung 2-26).

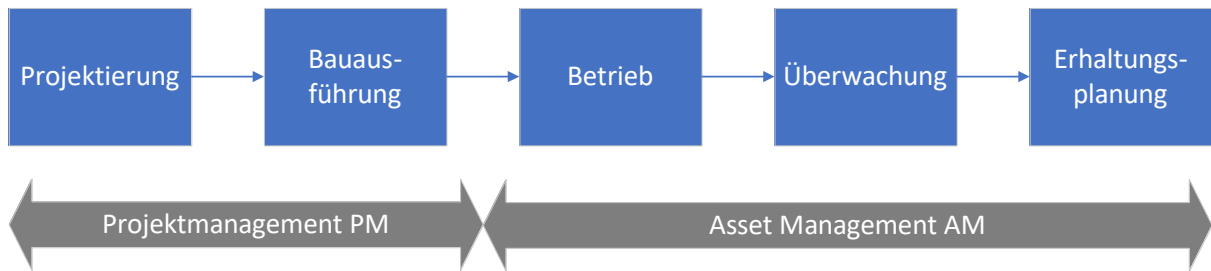


Abbildung 2-26: Phasen über die Lebensdauer der Straßeninfrastruktur

Wesentliche Grundlage für diese fünf Phasen ist die Strategie, welche die politischen, organisatorischen und technischen Vorgaben sowie Randbedingungen festlegt und Entscheidungsoptionen bestimmen. Die Strategiedefinitionen sind gemäß ISO-Normierung (vgl. DIN 2015b) die Basis für die operativen Planungen in den genannten Phasen (vgl. Abbildung 2-27). Dabei werden einerseits die verwaltungsinternen Geschäftsprozesse festgelegt und andererseits die Leistungsziele zur Gewährleistung von Verkehrssicherheit, Leistungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit, welche mit der vorhandenen Straßeninfrastruktur erreicht werden sollen. Schließlich erfolgt mit der Erhaltungsstrategie eine Konkretisierung der Randbedingungen, unter welchen Maßnahmen bei nicht Erreichen der definierten Leistungsziele ausgelöst werden sollen. Die Definitionen der jeweiligen Erhaltungsstrategien haben deshalb auch Einfluss auf die, bei der Überwachung zu erhebenden Kennwerten.

Im Rahmen der Planungsphasen wird unterschieden in das Projektmanagement und das Asset Management. Diese Einteilung spiegelt sich auch in den meisten Betreiberorganisationen wider. Die Abteilung Assetmanagement nimmt dabei die Rolle eines Treuhänders der Objekte der Straßeninfrastruktur wahr und beauftragt bei Bedarf die Abteilung Projektmanagement mit der Projektierung und Bauausführung von Neu- und Ausbau- oder Erhaltungsprojekten. Damit sollte auch eine Aufsichtsfunktion des Assetmanagements über das Projektmanagement verbunden sein.

Abbildung 2-27 zeigt den zyklisch ablaufenden Prozessablauf des Assetmanagements für ein Objekt der Straßeninfrastruktur generisch auf. Hierbei unterscheiden sich grundlegend der Betrieb von der Erhaltungsplanung. Während beim Betrieb des Fernstraßennetzes die Aufgaben bzw. Tätigkeiten jährlich fortlaufend geplant und durchgeführt werden, erstreckt sich die Erhaltungsplanung über mehrere Jahre. Je nach Straßenbetreiber kann die Planungsperiode mittelfristig vier Jahre oder auch langfristig bis zu 15 Jahre umfassen, welche dann im Rahmen einer laufenden Planung unter anderem anhand des Erfüllungsgrades der

definierten Leistungsziele und der zwischenzeitlich ausgeführten Erhaltungsmaßnahmen jährlich angepasst wird.

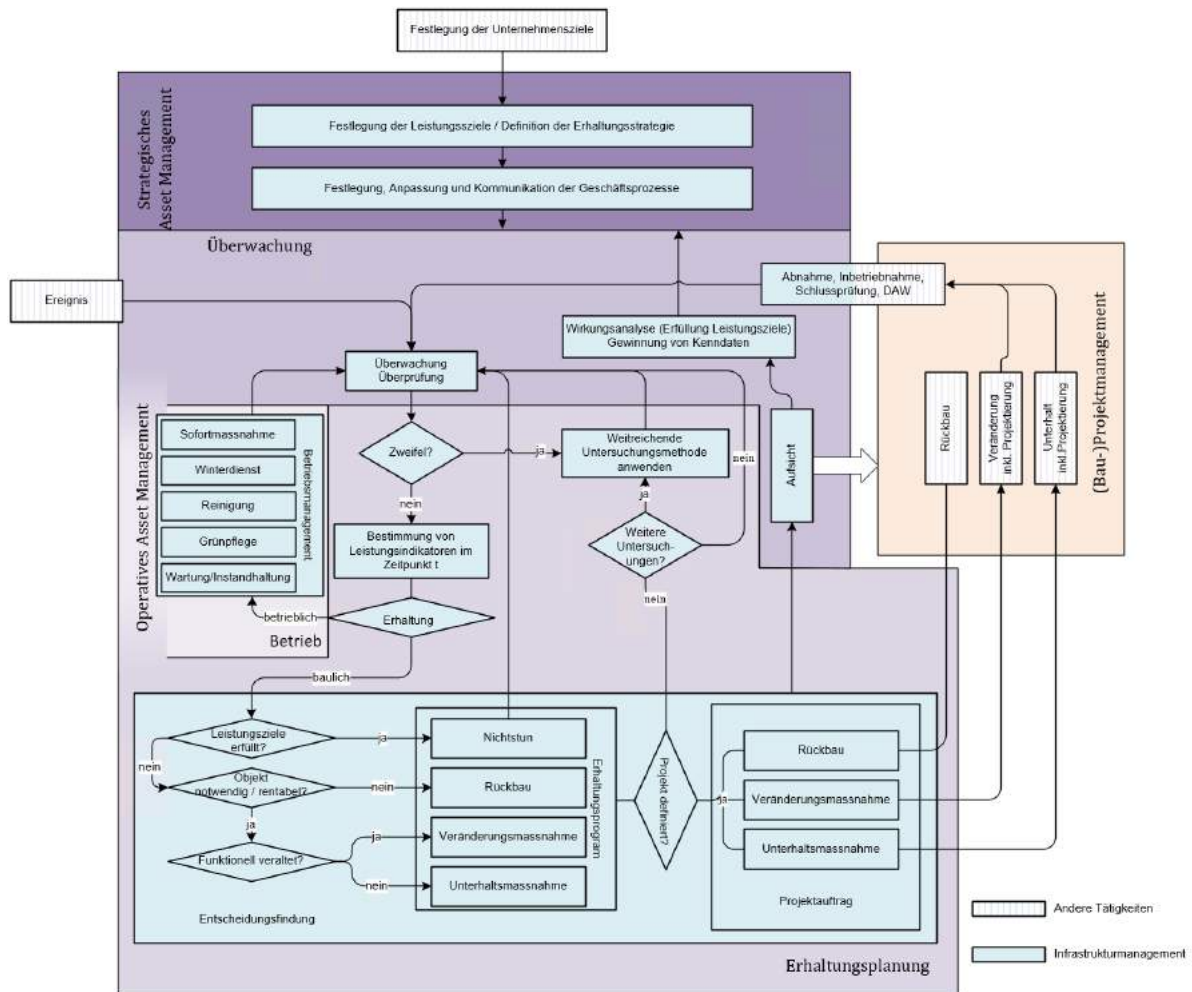


Abbildung 2-27: Strategisches und operatives Asset Management

Grundsätzlich können die Objekte der Straßeninfrastruktur aufgrund ihrer Eigenschaften in unterschiedliche Klassen, auch Teilsysteme, untergliedert werden. Neben der mittel- bis langfristigen Erhaltungsplanung erfolgt vor einer Auslösung von Erhaltungsmaßnahmen deren Bündelung zu Erhaltungsprojekten bzw. potenziellen Baulosen. Dabei werden zeitlich und örtlich beieinander liegenden Erhaltungsmaßnahmen, z. B. an benachbarten Objekten der Straßeninfrastruktur, welche im gleichen Zeitraum von etwa zwei bis vier Jahren einen Erhaltungsbedarf aufzeigen, in einem Erhaltungsprojekt gebündelt. Dies geschieht idealer Weise durch eine Optimierung von Betreiber- und Nutzerkosten unter Berücksichtigung z. B. von Baukosten, Umweltkosten, usw.

2.4.2 Überwachung

Die Tätigkeiten der Überwachung bilden einerseits mit der Streckenkontrolle bzw. Beobachtung die Grundlage für die Planung der betrieblichen Erhaltung. Andererseits bildet der in regelmäßigen Abständen erhobene Zustand von Objekten der Straßeninfrastruktur die Basis für die Erhaltungsplanung. Im Rahmen dieses Projektes wird dabei die Zustandserfassung und -bewertung von Fahrbahnen und die Inspektionen (CH) bzw. Bauwerksprüfung (D) von Ingenieurbauwerken betrachtet.

2.4.2.1 Streckenkontrolle bzw. Beobachtung

Die Straßenbetreiber bzw. Baulastträger öffentlicher Straßen sind gesetzlich verpflichtet, die öffentlichen Straßen, Wege und Plätze, aber auch Kunstbauten bzw. Ingenieurbauwerke und andere der Straßeninfrastruktur zugehörigen Objekte entsprechend ihrer Verkehrsbedeutung regelmäßig auf ihre Verkehrssicherheit und Gebrauchstauglichkeit zu kontrollieren und die Ergebnisse zu dokumentieren. Dies stellt die Grundlage für das Management des Straßenbetriebes bzw. Straßenbetriebsdienstes im Rahmen der betrieblichen Erhaltung dar und wird in der Regel durch einfache und regelmäßige, visuelle Kontrollen realisiert. Dadurch können betriebliche Maßnahmen (vgl. Kapitel 2.4.3) im jährlichen Zyklus geplant bzw. zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit mit Sofortmaßnahmen auf kritische Ereignisse unmittelbar reagiert werden. Hierfür werden für die einzelnen Straßenabschnitte Kontrollzyklen definiert. Die Ergebnisse der Kontrollen im Rahmen der Arbeitsabläufe des Straßenbetriebsdienstes werden durch Bilder, Kommentare und Definitionen von Schadensarten und Dringlichkeiten dokumentiert.

2.4.2.2 Zustandserfassung und -bewertung von Fahrbahnen

Die Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) bei Fahrbahnen unterstützt die Eigentümer der Straßeninfrastruktur festzustellen, ob die Fahrbahnen noch in einem Zustand sind, der den gestellten Anforderungen noch entspricht. In Anlehnung an Schmuck (1987) liegt der Fokus der ZEB bei Fahrbahnen auf Merkmalen, welche die Fahrsicherheit und den Fahrkomfort der Fahrbahnoberfläche (Gebrauch) sowie substanzielle Schäden des Straßenoberbaus (Substanz-Oberfläche) beschreiben können. Da diese Zustandserfassung netzweit in regelmäßigen Abständen durchzuführen ist, besteht das Ziel, dies zerstörungsfrei und möglichst ohne übermäßige Verkehrsbehinderungen durchzuführen. Aus diesem Grund haben sich weitgehend schnellfahrende Mess- bzw. Erhebungssysteme durchgesetzt, dies auch mit Blick auf die erhöhten Anforderungen in Bezug auf die Verkehrssicherheit.



Grundsätzlich werden im Rahmen der netzweiten ZEB in den D-A-CH Ländern folgende Zustandsmerkmale (Einzelmerkmale, bezogen auf eine bestimmte einzelne Eigenschaft) in regelmäßigen Abständen erhoben:

- Längsebenheit: Ebenheit in Fahrtrichtung
- Querebenheit: Ebenheit quer zur Fahrtrichtung
- Griffigkeit bei Nässe
- Substanzmerkmale der Fahrbahnoberfläche: Risse, andere Oberflächenschäden

Zusätzlich werden teilweise auch weitere Merkmale messtechnisch erfasst, jedoch aktuell meist nicht in die netzweite ZEB mit einbezogen. Dies betrifft zum Beispiel die Messung von Tragfähigkeit, Textur oder Lärmemission. Für die Zustandsmerkmale der Fahrbahnoberflächen existieren unterschiedliche physikalische Kennwerte, sogenannte Zustandsgrößen (vgl. DIN 2008). Zusätzlich sind für die messtechnische Erhebung der Griffigkeit verschiedene Messfahrzeuge in technischen Spezifikationen des Europäischen Komitee für Normung geregelt. Es gibt jedoch aktuell in den D-A-CH Ländern keine einheitliche Definition, welche dieser Zustandsgrößen gemessen, ausgewertet bzw. aufgenommen werden. Die Verfahren der Zustandserfassung und -bewertung sind länderspezifisch und werden in den jeweiligen nationalen Standards definiert. Zum Teil erheben Straßenbetreiber zu Vergleichszwecken weitere, nicht in den jeweiligen nationalen Standards definierte Zustandsgrößen parallel dazu. Aktuell werden in den D-A-CH Ländern Erweiterungen bzw. Änderungen der Zustandsgrößen für die Standardbewertung, wie z. B. für die Längsebenheit das „Bewertete Längsprofil“ (BLP) oder die Wellenbandanalyse (NBO), geprüft bzw. stehen bevor. Die jeweiligen aktuell erhobenen Zustandsgrößen für die Zustandsmerkmale der D-A-CH Länder werden vergleichend in Tabelle 2-2 aufgeführt.

In Bezug auf die Erhebung kann festgehalten werden, dass die Werte zur Längsebenheit, Querebenheit und Griffigkeit üblicherweise über schnellfahrende, d. h. sich im normalen Verkehr bewegend, Messfahrzeuge aufgenommen werden. Für die Ebenheit werden für die Ebenheitsmerkmale bisher schnellfahrend Längs- und Querprofile über entsprechende Lasermessbalken quer und entlang der Fahrspur erhoben und EDV-technisch verarbeitet. Zur Erhebung der Griffigkeit erfolgt die Bestimmung eines Reibungskoeffizienten abgeleitet von den Sensorsignalen an einem voll- bzw. schlupfgebremsten Messrad auf einem künstlich auf der Fahrbahn erzeugten Wasserfilm. Dies ist abhängig von der Messmethode bzw. des eingesetzten Messfahrzeugs zur Erfassung der Griffigkeit. Von der Fahrbahnoberfläche können gleichzeitig Bilder und/oder Videos aufgenommen werden, die dann entweder manuell

oder durch bestimmte Algorithmen (z. B. neuronale Netzwerke) auf Schäden untersucht werden.

Tabelle 2-2: Zustandsgrößen der Zustandserfassung und zugehörige Zustandswerte (vgl. FGSV 2001, FGSV 2006, VSS 2004, FSV 2006, FSV 2012)

| | Deutschland | Österreich | Schweiz |
|-------------------------------|--|--|---|
| Inspektionsperiode | 4 Jahre | 4 Jahre* | 4 Jahre |
| Längsebenheit | Allgemeine Unebenheit [cm ³] ZWAUN | International Roughness Index [m/km] ZWLE | Standardabweichung der Winkelwerte [-] I ₂ |
| Querebenheit | Spurinnentiefe [mm] ZWSPT | Spurinnentiefe [mm] ZWSR | Spurinnentiefe [mm] I ₃ |
| | Fiktive Wassertiefe [mm] ZWSPH | Fiktive Wassertiefe [mm] - | Fiktive Wassertiefe [mm] -I |
| Griffigkeit | Reibungskoeffizient (SKM) [-] ZWGRI | Reibungskoeffizient (RoadStar) [-] ZWGR | Reibungskoeffizient (SKM) [-] I ₄ |
| Substanzmerkmale (Oberfläche) | Anteil geschädigter Fläche [%], Ausprägung [m], Häufigkeit [%] ZWRIS ZWQRL/ZWQRP | Anteil geschädigter Fläche [%], Ausprägung [m], Häufigkeit [%] ZWRI | Erfassung von Ausmass und Schwere [-] der Einzelschäden und Zusammenführung zu Hauptgruppen I ₁ |
| | Übriger Anteil geschädigter Fläche durch Oberflächenschäden [%] ZWRSFA/ZWRSFB | Übriger Anteil geschädigter Fläche durch Oberflächenschäden [%] ZWOS | |

* ASFiNAG hat damit begonnen alle 4 Jahre eine Zustandserfassung durchzuführen. Die gelieferten Zustandsdaten weisen allerdings eine 5 Jahresperiode auf.

In der Vergangenheit wurden diese Werte durch Begehungen vor Ort aufgenommen. Dies geschieht heute zum Teil immer noch auf Straßen mit geringerer Verkehrsbelastung. Die Bewertung durch Begehung bzw. Videoauswertung beruht dabei auf ähnlichen Grundlagen und sind analog zu den messtechnischen Zustandsgrößen in den D-A-CH Ländern länderspezifisch in den nationalen Standards, vereinzelt auch straßenbetreiberabhängig abweichend von der vorhandenen Standardisierung (hier Bund/Land/Kommune), geregelt (vgl. FGSV 2006, FSV 2009b, VSS 2004). Der Einsatz eines durch das Fraunhofer Institut entwickelte Pavement Profile Scanner PPS-Plus erlaubt durch eine Erweiterung neben der



Erhebung der Querebenheit auch gleichzeitig durch eine Erweiterung mittels eines Intensitätslasers die Aufnahme von fotorealistischen Grauwertbildern. Dadurch kann der Einsatz von zusätzlichen Kameras entfallen (vgl. Fraunhofer 2019). Die Messwerte werden im Messsystem zuerst als sogenannte Georohdaten referenziert auf die Trajektorie und Gaus-Krüger-Koordinaten für Erfassungseinheiten abgespeichert. Diese können im Nachgang auf das vorhandene Straßennetz mit der gewünschten Größe einer Bewertungseinheit projiziert und dabei aggregiert werden. Die Speicherung der Mess- bzw. Aggregationsdaten ist ebenfalls länderspezifisch. Dies wird nochmals im Zusammenhang mit der Beschreibung der Datenflüsse über die Lebensdauer thematisiert (vgl. Kapitel 2.5).

Die etablierten Methoden zur Erfassung der Tragfähigkeit sind dagegen aufwendiger und werden in der Regel bis jetzt statisch bzw. mit geringer Geschwindigkeit des Messfahrzeugs aufgenommen. Die Überprüfung erfolgt daher meist nur stichprobenweise auf ausgewählten Straßenabschnitten. Schnelfahrende Messfahrzeuge sind derzeit in Erprobung.

Die Zustandsbewertung der Zustandsmerkmale erfolgt in den D-A-CH Ländern standardisiert durch eine Normierung der gemessenen oder berechneten Zustandsgrößen in dimensionslose Zustandswerte (vgl. Tabelle 2-2 und FGSV 2001, FGSV 2006, VSS 2004, FSV 2006, FSV 2012). Diese werden dann weiter in Teilwerte oder einen Gesamtwert für die Bewertung zusammengeführt. Die grundlegende Vorgehensweise ist in der folgenden Abbildung 2-28 dargestellt.

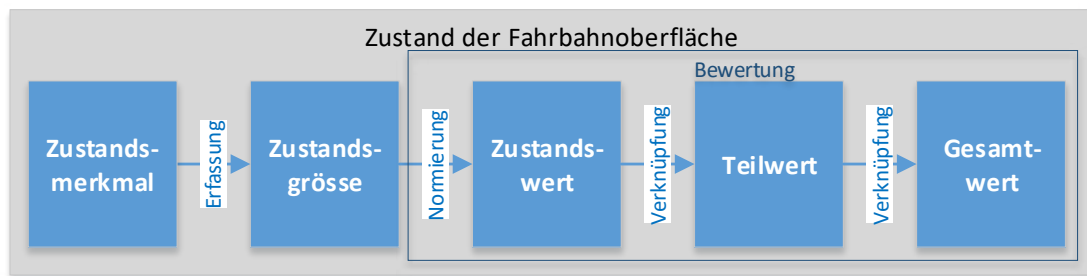


Abbildung 2-28: Grundsatz der Bewertung in den DACH-Ländern [Schiffmann und Hajdin 2017].

Ähnlich sind auch die Bewertungsmaßstäbe der dimensionslosen Zustandswerte. Die Bewertung wird anhand einer Notenskala von 1 bis 5 für Deutschland und Österreich bzw. 0 bis 5 für die Schweiz durchgeführt, wobei 0 bzw. 1 den besten und 5 den schlechtesten Zustandswert darstellt (vgl. Tabelle 2-3). Die Länge der jeweiligen Bewertungseinheiten ist in Deutschland auf freier Strecke und in der Schweiz mit 100 m und in Österreich mit 50 m definiert. Detailliertere Erläuterungen hierzu sind im Anhang ebenfalls ersichtlich.

Tabelle 2-3: Vergleich der Kategorisierung zur Zustandsbewertung von Fahrbahnen in Deutschland, Österreich und der Schweiz.

| Zustandsnote | Deutschland | Österreich | Schweiz |
|--------------|-------------|---------------|-------------|
| [0.0,0.5) | | | Gut |
| [0.5,1.0) | | | |
| [1.0,1.5) | 1 | Sehr gut | Mittel |
| [1.5,2.0) | 2 | Gut | |
| [2.0,2.5) | 3 | | Ausreichend |
| [2.5,3.0) | 4 | Mittel | |
| [3.0,3.5) | 5 | | |
| [3.5,4.0) | 6 | Schlecht | Kritisch |
| [4.0,4.5) | 7 | | Schlecht |
| [4.5,5.0] | 8 | Sehr schlecht | |

2.4.2.3 Inspektionen bzw. Bauwerksüberwachung

Die Bauwerksüberwachung von Ingenieurbauwerken ist in den D-A-CH Ländern national standardisiert. Hierfür existieren unterschiedliche Regelwerke, welche die Durchführung von Inspektionen und die dabei durchzuführenden Zustandserfassung und -bewertung definieren.

Deutschland

Die DIN 1076 (DIN 1999) stellt die Grundlage für Überwachung und Prüfung von Ingenieurbauwerken dar. Diese Norm erläutert die Bedingungen für die Durchführung der Bauwerksprüfung und Bauwerksüberwachung. Zusätzlich werden die, für die Prüfung und Überwachung benötigten Unterlagen (Bauwerksverzeichnis, Bauwerksbuch und Bauwerksakte) dargelegt. Die detaillierte Bewertung der Einzelschäden stellt die Grundlage des Verfahrens der Zustandsbewertung dar. Bei der Bauwerksprüfung werden sämtliche am Bauwerk sichtbaren Schäden erfasst und beschrieben. Die Schäden und Mängel werden einem Bauteil und einer Bauteilgruppe zugeordnet und im Programmsystem SIB-Bauwerke erfasst. Sie werden nach den Kriterien Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit getrennt bewertet. Die Bewertung der Kriterien wird nach der RI-EBW-PRÜF (BMVI 2017) durchgeführt. Die Skala reicht von 0 (Der Mangel/Schaden hat keinen Einfluss auf die Standsicherheit/Verkehrssicherheit/ Dauerhaftigkeit des Bauteils/Bauwerks.) bis 4 (Durch den Mangel/Schaden ist die Standsicherheit/Verkehrssicherheit/Dauerhaftigkeit des Bauteils und des Bauwerks nicht mehr gegeben). Die folgende Tabelle 2-4 zeigt die detaillierte Bewertungsskala.



Tabelle 2-4: Definitionen der Zustandsbewertung nach RI-EBW-PRÜF

| Notenbereich | Beschreibung |
|--------------|--|
| 1,0 – 1,4 | <p>Sehr guter Zustand</p> <p>Die Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit des Bauwerks sind gegeben. Laufende Unterhaltung erforderlich.</p> |
| 1,5 - 1,9 | <p>guter Zustand</p> <p>Die Standsicherheit und Verkehrssicherheit des Bauwerks sind gegeben. Die Dauerhaftigkeit mindestens einer Bauteilgruppe kann beeinträchtigt sein. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks kann langfristig geringfügig beeinträchtigt werden. Laufende Unterhaltung erforderlich.</p> |
| 2,0 – 2,4 | <p>befriedigender Zustand</p> <p>Die Standsicherheit und Verkehrssicherheit des Bauwerks sind gegeben. Die Standsicherheit und/oder Dauerhaftigkeit mindestens einer Bauteilgruppe können beeinträchtigt sein.</p> <p>Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks kann langfristig beeinträchtigt werden. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung des Bauwerks, die langfristig zu erheblichen Standsicherheits- und/oder Verkehrssicherheitsbeeinträchtigungen oder erhöhtem Verschleiß führt, ist möglich.</p> <p>Laufende Unterhaltung erforderlich. Mittelfristig Instandsetzung erforderlich.</p> <p>Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit können kurzfristig erforderlich werden.</p> |
| 2,5 - 2,9 | <p>ausreichender Zustand</p> <p>Die Standsicherheit des Bauwerks ist gegeben. Die Verkehrssicherheit des Bauwerks kann beeinträchtigt sein. Die Standsicherheit und/oder Dauerhaftigkeit mindestens einer Bauteilgruppe können beeinträchtigt sein. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks kann beeinträchtigt sein. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung des Bauwerks, die mittelfristig zu erheblichen Standsicherheits- und/oder Verkehrssicherheitsbeeinträchtigungen oder erhöhtem Verschleiß führt, ist dann zu erwarten. Laufende Unterhaltung erforderlich. Kurzfristig bis mittelfristig Instandsetzung erforderlich.</p> <p>Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit können kurzfristig erforderlich sein.</p> |
| 3,0-3,4 | <p>nicht ausreichender Zustand</p> <p>Die Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit des Bauwerks sind beeinträchtigt. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks kann nicht mehr gegeben sein. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung kann kurzfristig dazu führen, dass die Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben sind. Laufende Unterhaltung erforderlich. Umgehende Instandsetzung erforderlich.</p> <p>Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit oder Nutzungseinschränkungen sind umgehend erforderlich.</p> |
| 3,5 – 4,0 | <p>ungenügender Zustand</p> <p>Die Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit des Bauwerks sind erheblich beeinträchtigt oder nicht mehr gegeben.</p> <p>Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks kann nicht mehr gegeben sein. Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung kann kurzfristig dazu führen, dass die Standsicherheit und/oder Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben sind oder dass sich ein irreparabler Bau-werksverfall einstellt. Laufende Unterhaltung erforderlich.</p> <p>Umgehende Instandsetzung bzw. Erneuerung erforderlich.</p> <p>Maßnahmen zur Schadensbeseitigung oder Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit oder Nutzungseinschränkungen sind sofort erforderlich.</p> |

Es stehen umfangreiche Schadensbewertungskataloge zur Verfügung, aus welchen in der Regel die Schadensbewertungen übernommen werden. Die Zustandsnote des Gesamtbauwerks wird in mehreren Schritten berechnet und wird in Haardt (1999) ausführlich beschrieben.

Österreich

Für die bautechnische Überwachung von Straßenbrücken sowie verwandten Kunstbauten ist die RVS 13.03.11 (FSV 2011) anzuwenden. Diese RVS stellt dar, wie die Straßenbrücken im Hinblick auf ihre Zuverlässigkeit (d. h. Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit sowie Dauerhaftigkeit) und Verkehrssicherheit zu überwachen und bewerten sind. Die RVS spezifiziert, was bei laufenden Überwachungen, Kontrollen und Prüfungen durchgeführt werden muss und beinhaltet ein Bewertungssystem für die Objekt- und Bauteilbewertung. Für die Inspektion der Lager wird die Norm ÖNORM EN 1337-10 (FSV (2003) und für die Bewertung des Rostgrades von Beschichtungen wird die ÖNORM EN ISO 4628-3 (FSV 2016) angewendet.

Für die Bewertung des Zustands von Bauwerken und Bauteilen wird das in Tabelle 2-5, dargestellte Notensystem verwendet. Bauwerken und Bauteilen werden im Wesentlichen separat bewertet. Die Note des Gesamtbauwerks ist nicht direkt von den Noten der einzelnen Bauteile abhängig, sondern erfolgt gemäß Tabelle 2-5. Um Anhaltspunkte für die Beurteilung von Bauteilen zu geben, listet die RVS 13.03.11 (FSV 2011) zusätzlich beispielhafte Schadensbilder für die acht unterschiedlichen Bauteile (Unterbau, Überbau, Deckschicht, Lager, Fahrbahnübergang, Abdichtung / Entwässerung, Randbalken und sonstige Ausrüstung) auf. Die beispielhaften Schadensbilder stellen sicher, dass die Bauteile vergleichbar bewertet werden

Tabelle 2-5: Objektbeurteilung gemäß RVS 13.03.11

| Note | Beschreibung |
|------|---|
| 1 | Sehr guter Zustand |
| | Keine oder sehr geringe Schäden. Mängel aus der Bauzeit wie Abweichungen der Abmessungen, ästhetische Mängel. <u>Keine Einschränkung</u> der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. <u>Keine Instandsetzung</u> erforderlich. |
| 2 | Guter Zustand |
| | Geringe, leichte Schäden; Mängel aus der Bauherstellung, die noch keine Verschlechterung zeigen. <u>Keine Einschränkung</u> der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Bei Nichtbeheben kommt es erst längerfristig zu einer Verminderung der Gebrauchstauglichkeit bzw. Dauerhaftigkeit Behebung im Zuge von <u>Wartungs- oder Instandsetzungsarbeiten</u> empfohlen. |
| 3 | Ausreichender Zustand |
| | Mittelschwere Schäden, die <u>keine Einschränkung</u> der Tragfähigkeit zur Folge haben. Es sind <u>Anzeichen einer Verminderung</u> der Gebrauchstauglichkeit bzw. Dauerhaftigkeit des Bauwerks zu erkennen. Eine <u>Instandsetzung</u> sollte <u>mittelfristig</u> in Angriff genommen werden, um die Gebrauchstauglichkeit bzw. die Dauerhaftigkeit auf das geplante Maß anzuheben. |
| 4 | Mangelhafter Zustand |
| | Schwere Schäden, die derzeit <u>noch keine Einschränkungen</u> der Tragfähigkeit zur Folge haben. Es ist eine <u>Verminderung</u> der Gebrauchstauglichkeit bzw. Dauerhaftigkeit deutlich erkennbar. Eine <u>Instandsetzung</u> sollte <u>kurzfristig</u> in Angriff genommen werden, um die Gebrauchstauglichkeit bzw. die Dauerhaftigkeit auf das geplante Maß anzuheben. Eine Instandsetzung kann innerhalb der genannten Frist zugunsten einer neuerlichen Prüfung/ Sonderprüfung ausgesetzt werden (Prüfintervall verkürzen). |
| 5 | Schlechter Zustand |
| | Sehr schwere Schäden, die eine <u>Einschränkung</u> der Tragfähigkeit und/ oder Gebrauchstauglichkeit bis zum Abschluss der Instandsetzung/ Erneuerung zur Folge haben. <u>Instandsetzungs-/Erneuerungsarbeiten sind unverzüglich einzuleiten.</u> |

Schweiz

Die ASTRA-Richtlinie «Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstraßen» (ASTRA 2005) legt die Grundsätze für die Überwachung und den Unterhalt (baulicher Unterhalt und Erneuerung) von Kunstbauten der Nationalstraßen fest. Sie gibt Auskunft über die anzuwendenden Grundlagen, Grundprinzipien und Ziele. In einem allgemeinen Rahmen gliedert die Richtlinie die Überwachungs- und Unterhaltstätigkeiten für die Erhaltung der Kunstbauten.

Im Rahmen der Inspektion wird der Zustand des Bauwerks und seiner Bestandteile bewertet. Hierfür werden die folgenden Zustandsklassen (ZK) von 1 bis 5 verwendet:



Tabelle 2-6: Zustandsklassen mit Beschreibung

| Zustandsklasse | Beschreibung | Schäden |
|----------------|-----------------------|--|
| 1 | Guter Zustand | Keine / geringfügige Schäden |
| 2 | Akzeptabler Zustand | Unbedeutende Schäden |
| 3 | Beschädigter Zustand | Bedeutende Schäden |
| 4 | Schlechter Zustand | Große Schäden |
| 5 | Alarmierender Zustand | Die Sicherheit ist gefährdet, Maßnahmen sind vor der nächsten Hauptinspektion erforderlich |

Die Zustandsbeurteilung wird auf drei Ebenen erfasst: Auf der Ebene der Schadensgruppe, des Bauwerksteils und des Bauwerks. Die Zustandsbeurteilung auf der Ebene der Schadensgruppe wird jedoch nur für vorab definierte Bauwerksteile, die maßgebend für die Erhaltungskosten eines Bauwerks sind, erfasst.

Im Dokument «Leitfaden für Inspektoren von Kunstbauten» (ASTRA 2016) werden Beispiele von typischen Schadensbildern gegeben. Sie dienen als Anhaltspunkt für den Inspektor und sollen eine einheitliche Beurteilung sicherstellen. Die Zustandsbewertung erfolgt aufgrund der Einschätzung des Inspektors entlang der Objekthierarchie beginnend mit der kleinsten Einheit bis hin zur Gesamtbeurteilung des Infrastrukturobjekts.

Zuerst wird jeder Schadensgruppe eine Zustandsklasse zugeordnet. Sie beschreibt den Zustand des betreffenden Bereichs eines Bauwerksteils und bezieht sich auf die Schäden der Schadensgruppe. In einem zweiten Schritt wird der Zustand von Bauwerksteilen erfasst. In diese Bewertung fließen die Art, Anzahl und Schadensausmaß der Schadensgruppen des betreffenden Bauwerksteils ein. Die Auswirkungen der Befunde auf die Funktionsfähigkeit und Sicherheit des Bauwerksteils werden dabei berücksichtigt. Schließlich ordnet der Inspektor das gesamte Bauteil einer Zustandsklasse zu. Im dritten Schritt wird der Zustand für das gesamte Bauwerk beurteilt. Die Zustandsbeurteilung baut auf den Zuständen der untergeordneten Infrastrukturobjekte auf, erfolgt jedoch prinzipiell nach der Einschätzung des Inspektors. Die Zustandsbewertung muss somit nicht dem Mittelwert der untergeordneten Objekte entsprechen. Sie gibt vielmehr den Gesamtzustand, die Funktionalität und die Sicherheit des Objektes an.

Zusammenfassung

Zusammenfassend zeigen sich unterschiedliche Gliederungsebenen in den D-A-CH Ländern für die Zustandsbewertung (vgl. Abbildung 2-29). Ein Feld wird in Abbildung 2-29 dunkelgrün hinterlegt, falls auf der jeweiligen Gliederungsebene eine Zustandsnote direkt erfasst wird. Bei einem hellgrün hinterlegten Feld wird die Note aus Noten berechnet, welche in



untergeordneten Gliederungsebenen verteilt wurden. In Deutschland werden nur Einzelschäden einer Zustandsnote zugewiesen. Aus dieser Note werden dann mittels eines Algorithmus Zustandsnoten für Bauteilgruppen und Teilbauwerke vergeben. In Österreich und in der Schweiz werden auf mehreren Ebenen Zustandsnoten vergeben. Die Zustandsnote kann nicht direkt mittels eines Algorithmus aus den Noten der untergeordneten Objekte ermittelt werden. Vielmehr gibt der Gesamtzustand die Funktionalität und die Sicherheit des gesamten Objektes wieder.

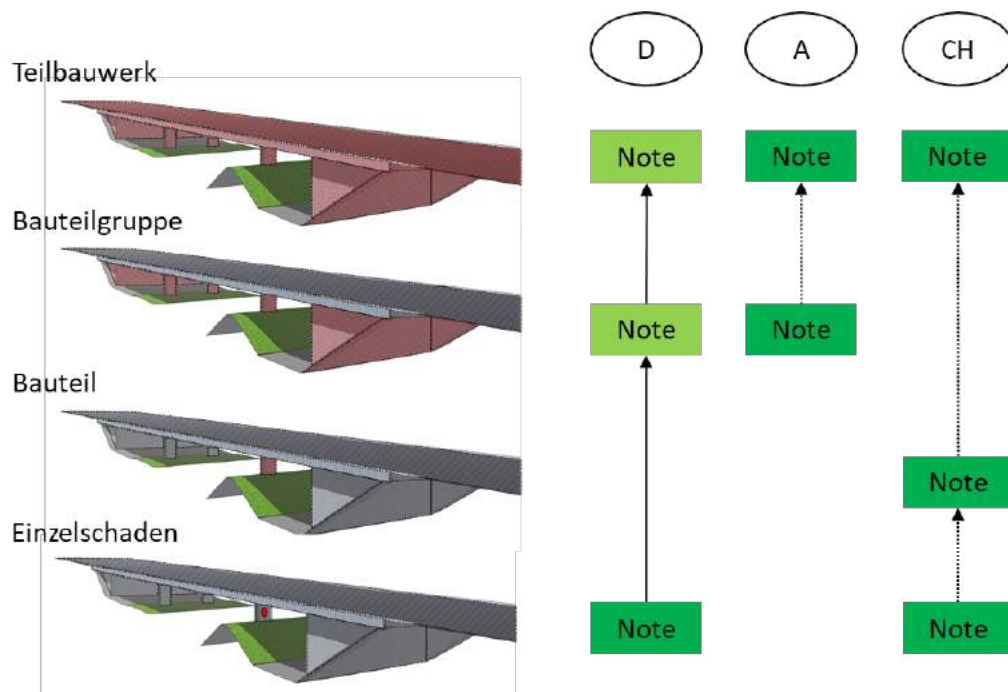


Abbildung 2-29: Zustandsbewertung der Brücken in Abhängigkeit der Gliederungsebene

2.4.3 Betrieb

Grundlage für den Betrieb, das heißt die technische Betreuung der Straßeninfrastruktur, ist die Streckenkontrolle bzw. Beobachtung im Rahmen derer ein Straßenbetreiber seiner hoheitlichen Aufgabe nachkommt, die Verkehrssicherheit und Gebrauchstauglichkeit für den Straßennutzer zu gewährleisten (vgl. auch Kapitel 2.4.2.1). Im Rahmen der betrieblichen Erhaltung werden in einem jährlichen Zyklus Tätigkeiten des Winterdienstes, der Reinigung, der Grünpflege und Wartung bzw. Instandhaltung geplant sowie bei beobachteten Ereignissen im Rahmen der Streckenkontrolle Sofortmaßnahmen eingeleitet (vgl. Abbildung 2-27). Die Tätigkeiten werden in der Regel, soweit in den Verkehrsraum eingegriffen werden muss, im Rahmen von Tagesbaustellen bzw. Arbeitsstellen von kürzerer Dauer durchgeführt (Hess et al. 2018).



2.4.4 Erhaltungsplanung

2.4.4.1 Grundsatz

Ziel der Erhaltungsplanung ist eine Unterstützung der Entscheidungsprozesse im Asset Management eine den definierten Leistungszielen und Rahmenbedingungen entsprechende Straßeninfrastruktur zur Verfügung zu stellen und dies möglichst unter der Berücksichtigung aller Anspruchsgruppen. Dafür werden im Rahmen der Erhaltungsplanung Maßnahmen der baulichen Erhaltung (Erhaltungsmaßnahmen) über einen definierten möglichst langfristigen Zeitraum an definierten Planungseinheiten, gemäß der vorhandenen Erhaltungsstrategie festgelegt (vgl. Kapitel 2.4.1 und Abbildung 2-27). Dies beinhaltet sowohl die Identifikation der technisch sinnvollen Erhaltungsmaßnahmen aufgrund der jeweiligen Erhaltungsstrategie als auch die Entwicklung der Maßnahmenprogrammen unter Berücksichtigung von vorhandenen Rahmenbedingungen, z. B. die Verfügbarkeit von finanziellen Ressourcen. Die Grundlage hierfür wird durch die im Rahmen der Überwachung erhobenen Zustände der definierten Bewertungseinheiten der Straßeninfrastruktur gelegt (vgl. Kapitel 2.4.2.2 und 2.4.2.3). Im Vorfeld ist es deshalb notwendig, Planungseinheiten zu definieren und die mögliche Zustandsentwicklung zu prognostizieren.

2.4.4.2 Definition von Planungseinheiten

Die Erhaltungsplanung definiert in Abhängigkeit vom vorhandenen Leistungsniveau der Straßeninfrastruktur unterschiedliche Szenarien von Erhaltungsmaßnahmen mit deren Art, Ort und Zeitpunkt. Diese dienen der Entscheidungsfindung zur Definition von Erhaltungsprojekten für die Übergabe ans Projektmanagement zur Projektierung und Bauausführung (vgl. Abbildung 2-27). Diese Erhaltungsmaßnahmen, konkret für Fahrbahnabschnitte bzw. Ingenieurbauwerke, können grundsätzlich in einem unterschiedlichen Detaillierungsgrad geplant werden und hängen von der Definition der jeweiligen Planungseinheit ab. Die Planungseinheiten werden in der Regel aus mehreren Bewertungseinheiten gebildet, können aber auch im Sonderfall den jeweiligen Bewertungseinheiten entsprechen.

Bei Fahrbahnen sind hierfür unterschiedliche Algorithmen im Einsatz, dies reicht von einer zustandsbezogenen Bildung von homogenen Abschnitten (vgl. Thomas (2004), Rübensam (1996), AASHTO (1986)) als Planungseinheiten bis zu einer maßnahmenbezogenen Homogenisierung (vgl. Hajdin, Botzen Schiffmann & Lindenmann 2014; Botzen, Schiffmann & hajdin 2017). Bei Kunstbauten ist eine Definition der jeweiligen Gliederungsniveau für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen entscheidend. Dies geschieht in der Regel auf

Bauteilniveau, wird aber auch grob auf Bauwerksebene durchgeführt (vgl. auch Abbildung 2-29).

2.4.4.3 Prognose der Zustandsentwicklung

Bei der Erhaltungsplanung erfolgt eine Ableitung von Erhaltungsmaßnahmen in Abhängigkeit von Kennwerten des vorhandenen bzw. erwarteten Zustands. Die Entscheidungsfindung im Rahmen einer langfristigen Erhaltungsplanung basieren auf der Vorhersage der Zustandsentwicklung des Straßennetzes mit seinen Teilsystemen, z. B. Fahrbahnbefestigungen oder Brückenbauwerken, über einen definierten Betrachtungszeitraum. Die Zustandsentwicklung, deren Ursache diverse physikalische und chemische Prozesse sein können, lässt sich durch mathematische Funktionen deterministisch oder auch probabilistisch beschreiben. Diese lassen sich unter anderem aus vorhandenen historisierten Daten der netzweiten Zustandserfassung bei Fahrbahnbefestigungen bzw. von Inspektionen von Brückenbauwerken ableiten. Tabelle 2-7 zeigt die für die Fernstraßen in den D-A-CH Ländern angewendeten Modellansätze.

Tabelle 2-7: Modellansatz zur Zustandsprognose für verschiedene Infrastrukturgruppen in den DACH-Ländern.

| Infrastrukturgruppe | Deutschland BASt / BMVI | Österreich ASFiNAG | Schweiz ASTRA |
|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Fahrbahnen | deterministisch | deterministisch | – |
| Kunstabauwerke | deterministisch | deterministisch | probabilistisch |
| elektromechanische Anlagen | – | – | probabilistisch |

2.4.4.4 Ermittlung von Handlungsoptionen

Für das Ermitteln von Handlungsoptionen ist die Zustandsprognose und die Erhaltungsstrategie, welche im Rahmen des strategischen Erhaltungsmanagements definiert wurde, von Bedeutung. Die Handlungsoptionen für relevante Straßenabschnitte, d. h. Abschnitte mit identifiziertem Erhaltungsbedarf, ergeben sich für einen definierten Zeitraum durch die in der Erhaltungsstrategie definierte Zuordnung der Typen von Erhaltungsmaßnahmen zu einem festgelegten Zustandsniveau. Für die Entscheidungsfindung und die netzweite Optimierung bzw. Koordinierung werden hierfür zum Teil mehrere Szenarien

z. B. für unterschiedlichen Strategien oder Budgetvarianten gebildet. Die netz- oder korridorweite Zusammenführung der Erhaltungsmaßnahmen und deren resultierende Kosten ergibt dann das Arbeitsprogramm mit zugehörigem Finanzbedarf je Szenario als Grundlage für die Optimierung bzw. Koordinierung über alle Teilsysteme (vgl. Blumenfeld et al. 2021).

2.4.4.5 Wirkungsanalyse

Die Wirkungsanalyse stellt einen bedeutenden Arbeitsschritt innerhalb des Prozesskreislaufs der Erhaltungsplanung dar. Dieser unterstützt vor allem das strategische Erhaltungsmanagement. Im Rahmen der Wirkungsanalyse werden Kennzahlen ermittelt, welche z. B. eine Bewertung der Leistungsziele in Bezug auf ihren Erfüllungsgrad und ihre Relevanz bei der Entscheidungsfindung zulassen. Dies sollte mindestens in einem jährlichen Rhythmus stattfinden. Zusätzlich sollten in Abständen in diesem Rahmen auch die Geschäftsprozesse überprüft werden, um diese bei Bedarf anzupassen. Hierbei spielen in der Organisation des Straßenbetreibers auch finanzielle und personelle Ressourcen eine wichtige Rolle (vgl. Blumenfeld et al. 2021).

2.5 Datenflüsse über die Lebensdauer

2.5.1 Vorgehensweise zur Prozessmodellierung

Zur Darstellung der Datenflüsse über die Lebensdauer ist es zunächst notwendig, ein einheitliches Verständnis des Gesamtprozesses zum Asset Management zu definieren. Dabei wird von folgenden Grundannahmen zum Aufstellen der Prozessmodelle ausgegangen.

- Die Grundlagen zum Asset Management sind wie bereits erläutert in der EN ISO 55000 (DIN 2015b) definiert. Deren Elemente stellen die grundlegenden Anforderungen für die spätere Prozessbeschreibung dar. Insofern müssen das nachfolgend dargestellte Prozessmodell sowie alle damit verbundenen Teilprozesse in den Gesamtkontext dieser Norm zuordenbar sein.
- Die Norm EN ISO 55000 beschreibt drei Betrachtungsebenen, eine strategische, eine taktische und eine operative Ebene. Deren Aufgabenbereiche müssen eindeutig gegeneinander abgegrenzt sein. Dazu besteht ein jeweils länderspezifisches Verständnis, im vorliegenden Kontext wird ein länderübergreifendes Verständnis dargestellt.
- Innerhalb dieser Betrachtungsebenen muss eine Systemabgrenzung vorgenommen werden, welche Aufgaben im Asset Management erledigt werden und wo die Grenze zu grundlegenden verkehrsplanerischen Überlegungen besteht.



- Ein übergeordnetes und allgemeines Prozessmodell beschreibt ein Asset Management in seiner Grundstruktur, die im Kontext dieses Forschungsprojektes notwendigen und wichtigen Teilprozesse müssen darin zuordenbar sein. Dies bedeutet gleichzeitig, dass das spätere Datenmodell in der Lage sein soll, alle Arbeitsebenen und Aufgabenbereiche abzudecken. Je nach Arbeitsebene sind unterschiedliche Anforderungen an die Daten bezüglich Detaillierungsgrad und Datenumfang zu stellen. Dabei wird ein Bottom-Up Ansatz unterstellt, indem auf Objektebene die notwendigen Datengrundlagen erstellt werden. Die Abbildung der Netzebene erfolgt dann über eine Aggregation der auf Objektebene vorhandenen Daten. Dies stellt einen üblichen Ansatz im Erhaltungsmanagement dar.

Die Vorgehensweise zur Darstellung der Datenflüsse über die Lebensdauer wurde daher wie folgt gewählt: Zunächst wurde ausgehend von den Erkenntnissen aus den Kapiteln 3.2 und 3.3 die grundsätzliche Struktur für die Prozessmodellierung des Asset Managements festgelegt. In einem ersten Schritt wurden daher die grundlegenden Definitionen und Abgrenzungen für ein Asset Management Modell ausgearbeitet. Als Grundmodell wurde die Modellvorstellung eines Asset-Managements gemäß Abbildung 2-27 vorausgesetzt. Das dort vorgestellte Modell enthält bewusst keine Zuordnung zu einer objektbezogenen oder einer netzbezogenen Betrachtung. Dies war an der Stelle auch noch nicht notwendig und kann jetzt im Abgleich mit den Vorgaben der EN ISO 55000 erfolgen, wenn darauf aufbauend die weiteren bekannten Modelle aus den D-A-CH-Ländern mitberücksichtigt werden. In einem zweiten Schritt wurden dann möglichst alle anstehenden Aufgaben in einem Asset Management Modell der Verkehrsinfrastruktur über den Lebenszyklus zusammengestellt. Dieses Ergebnis geht über den reinen Fokus des vorliegenden Forschungsprojektes hinaus, wird aber für die Einordnung in ein Gesamtkontext als notwendig erachtet. Im dritten Schritt wird dann basierend auf der Aufgabenzusammenstellung ein übergeordnetes allgemeines Prozessmodell für ein Asset Management System Verkehrsinfrastruktur abgeleitet. Dieses allgemeine Prozessmodell wird in einem vierten Schritt für die im vorliegenden Kontext relevanten Teilprozesse näher beschrieben, soweit dies für die Modellierung des Datenflusses notwendig ist. Es sei daher bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass alle Prozessmodellierungen im Wesentlichen auf Teilaufgaben innerhalb der Prozesse verzichten, da zum einen der Fokus auf die klare Darstellung der Datenübergabeschnittstellen im IFC/BIM Kontext liegt, und zum anderen bei der Bearbeitung einzelner Teilaufgaben länderspezifische Regelungen existieren, die im vorliegenden Kontext nicht umfassend abgebildet werden können. Somit liegt als Ergebnis dieses Unterkapitels Prozessmodellierung eines Asset

Managements vor. Daraus sind die wesentlichen Datenflüsse zunächst erkennbar. Eine Detaillierung in die Datenflussmodelle wird zu einem späteren Zeitpunkt vorgenommen.

2.5.2 Prozessmodell Asset Management

Basis für die Aufstellung des übergeordneten Prozessmodells sind die entsprechenden Aussagen zu den benötigten Hauptelementen der EN ISO 55000. Diese Norm unterscheidet einen strategischen Entscheidungsprozess, ein taktischen Entscheidungsprozess sowie die operative Umsetzung eines Asset Management Plans. Die daraus abgeleiteten grundsätzlichen Zusammenhänge sind in Abbildung 2-30 dargestellt.

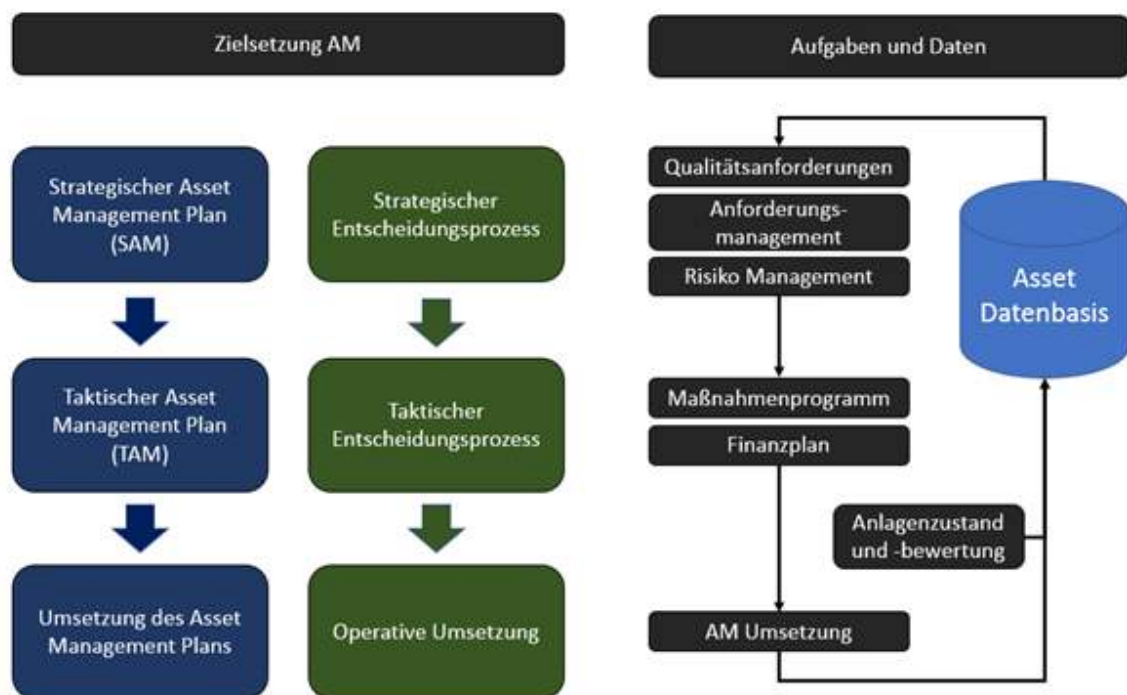


Abbildung 2-30: Betrachtungsebenen und Aufgaben im Asset Management

Die strategische Ebene umfasst in erster Linie die politischen Entscheidungen, in der eine grundlegende Festlegung der Ziele des Straßenbaulastträgers vorgenommen wird. Im taktischen Entscheidungsprozess findet sich die der Erhaltungsplanung zuordenbaren Aufgaben, die sich in der üblichen Abfolge der Inspektion von Bauwerken bzw. der Zustandserfassung und -bewertung der Verkehrsflächen über die Finanzbedarfsprognose bis zum Aufstellen des objektbezogenen Erhaltungsprogramms gliedert. Anschließend erfolgt die operative Umsetzung des Erhaltungsprogramms mit der Maßnahmenumsetzung und der anschließenden Erfolgskontrolle. Für das vorliegende Projekt sind die Bereiche des taktischen

Entscheidungsprozesses sowie der operativen Umsetzung von Relevanz, dass strategische Asset Management findet auf einer übergeordneten meist politischen Leitungsebene statt. Die Aussagen in Abbildung 3-27 beschreiben dieses grundsätzliche Konzept und übersetzen die Anforderungen der Norm EN ISO 55000 in ein für Verkehrsanlagen anwendbares Modell. Im Allgemeinen werden dort die Bereiche Überwachung, operatives Asset Management (Betrieb und Erhaltungsplanung) beschrieben. Dies bildet im Wesentlichen den taktischen Entscheidungsprozess ab. Die operative Umsetzung wird dann als (Bau-) Projektmanagement bezeichnet. Der Bereich Überwachung gliedert sich in die Inspektion bzw. Zustandserfassung und -bewertung, die am Anfang des Prozesses steht, sowie in die Wirkungsanalyse am Ende des Prozesses. Das operative Asset Management betrachtet zudem die betrieblichen Aufgaben der Straßenerhaltung, die im Wesentlichen eine organisatorische Aufgabe darstellen. Im Rahmen der reinen Erhaltungsplanung werden dann sowohl die netzweite Finanzbedarfsprognose als auch die objektbezogene Erhaltungsprogramme erstellt. In diesem Zusammenhang sei auf zwei Besonderheiten hingewiesen: Zum einen wird der Begriff des Erhaltungsmanagements gemäß sonst üblichen Betrachtungsweisen um den Bereich einer Veränderungsmaßnahme (Um-, Ausbau oder Erweiterung) ergänzt. Bisherige Vorstellungen von Erhaltungsmanagement gehen davon aus, dass die Anlage im ursprünglichen Bestand wiederhergestellt wird. Letztlich kann aber nach einer gewissen Liegezeit nicht davon ausgegangen werden, dass die bestehende Anlage in vorhandener Form auch künftige Leistungsziele erfüllen kann. Deswegen ist genau diese Überprüfung in ein Asset Management erforderlich, was eben zu einer Umbau-, Erweiterung-, oder Ausbaumaßnahme führen kann. Umgekehrt kann genauso der Fall eintreten, dass eine Anlage im vorhandenen Ausbau Standard so künftig nicht mehr benötigt wird, was im Zweifelsfall zu einem Rückbau führen wird. Insofern sollte dies konsequenterweise in einem modernen Asset Management mitberücksichtigt werden. Dies macht neben den reinen baustofftechnologischen oder konstruktiven Kenngrößen auch die Aufnahme planerischer Kenngrößen mit erforderlich, was dann Auswirkungen auf die Datenflussanforderungen hat. Zum anderen wird davon ausgegangen, dass eine vorhandene Zustandserfassung und -bewertung um eine strukturelle Bewertung ergänzt wird und in Einzelfällen die Anwendung erweiterter Untersuchungsmethoden notwendig macht, hierbei ist methodisch zwischen dem Ingenieurbau und dem Straßenbau sicherlich zu unterscheiden. In beiden Fällen fallen zusätzliche Informationen an, die im späteren Datenmodell mit abgebildet werden sollten. Aus dieser Grundüberlegung heraus wurden zunächst die notwendigen Arbeitsfelder identifiziert und in Abbildung 2-31 zusammengestellt. Dort werden die wesentlichen Bereiche

des Asset Managements der Verkehrsinfrastruktur dargestellt und für die Anlagenbestandteile Fahrbahn als Pavement Management System sowie Bauwerke als Bauwerksmanagement und unten angefügt den betrieblichen Aspekten im Lebenszyklus bzw. in der Reihe der Bearbeitung aufgezeigt.

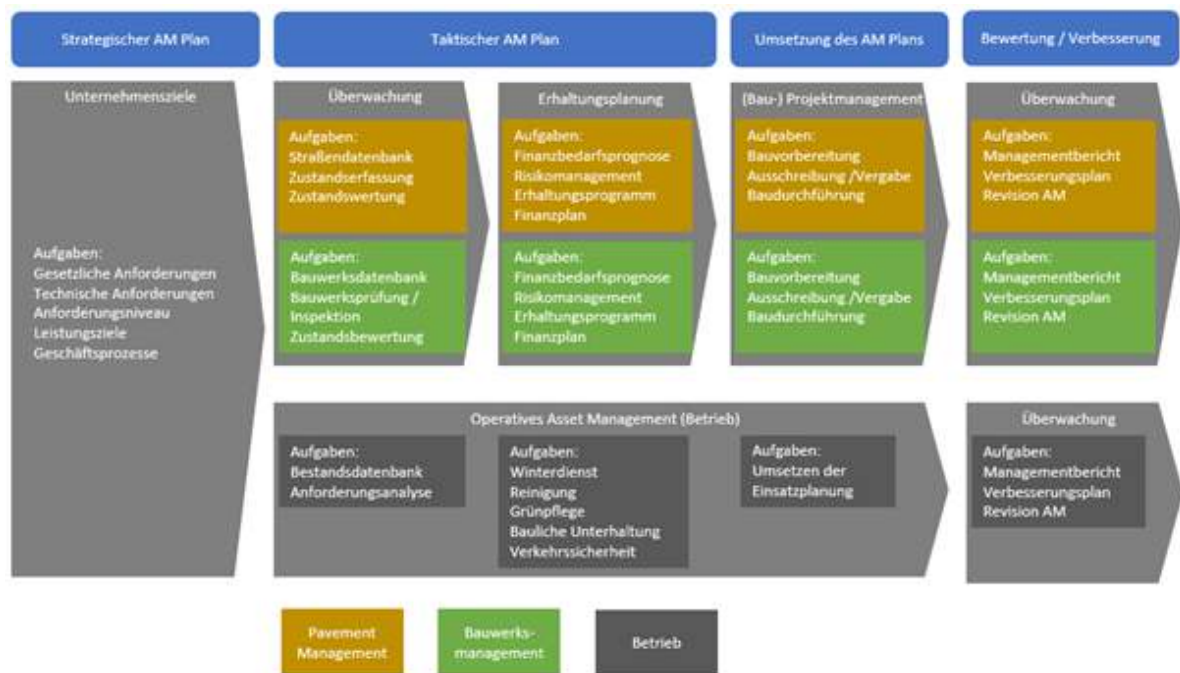


Abbildung 2-31: Struktur der Aufgabenbereiche des Asset Managements

Dieser Überblick dient als Grundlage für die weitere Ausarbeitung der Prozessbeschreibung und des Datenflussmodells, wobei nachfolgend nur die für den vorliegenden Kontext relevanten Aufgaben und Abläufe weiter betrachtet werden. Die Darstellung der Struktur dient dabei dem Grundverständnis des Asset Managements sowie der Einordnung der weiter beschriebenen Prozesse. Darauf aufbauend wurde eine Prozessstruktur für den Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur entwickelt. Die vorgeschlagene Prozessstruktur beginnt beim Aufgabenbereich der Überwachung, gemeint ist damit zunächst die Bauwerksinspektion bzw. die Zustandserfassung und -bewertung der Fahrbahnoberflächen. Auf die Beschreibung des strategischen Asset Management Plans wird verzichtet, weil dieser Schritt für die weitere Bearbeitung des Datenflusses keine Rolle spielt. Die Grundstruktur ist in Abbildung 2-32 dargestellt. Im Ablauf wird zunächst zwischen der Leitungsebene und der Arbeitsebene einer Straßenbauverwaltung unterschieden. Dies erfolgt, um den üblichen Arbeitsablauf einer Straßenbauverwaltung mit zu berücksichtigen und zugleich den Informationsfluss zwischen den Arbeitsebenen darzustellen. Der Prozess ist dabei aus Gründen der Übersicht einfach



gehalten, er beginnt mit der Übernahme der Leistungsziele und verläuft gemäß der oben bereits erläuterten Prozessstruktur von der Inspektion bis hin zur Maßnahmendurchführung und Wirkungsanalyse. Der Prozess geht dabei von der Datenhaltung her von einem vorhandenen IFC/BIM-Bestandsmodell aus, das den Infrastrukturbestand für eine Lebenszyklusbetrachtung ausreichend abbildet. Im Verlauf des Asset Management werden dabei drei Fortschreibungen der BIM Datenbank identifiziert, nachfolgend als Update I, Update II und Update III bezeichnet. Dies ist erstens eine Übernahme der Ergebnisse aus der Inspektion bzw. Zustandserfassung und Bewertung, zweitens dann die Übernahme der festgelegten Erhaltungsobjekte und drittens die Übernahme des „wie gebaut“-Modells nach Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme. Die jeweils für die einzelnen Prozessschritte zu übergebenden Daten sind in allgemeiner Form mit angegeben, wobei deren Datenhaltung außerhalb der physischen IFC/BIM-Datenbank in einer gemeinsamen Datenumgebung als Koordinationsmodell projektbezogen vorgehalten wird.

Dabei wird davon ausgegangen, dass während des eigentlichen Ablaufs zur Maßnahmenplanung die Fortschreibung der Planung bis zur Ausführung gemäß dem LOD-Konzept nicht in die IFC/BIM-Datenbank zurückgespielt werden, sondern am Prozessende lediglich das „wie-gebaut“-Modell übergeben wird.

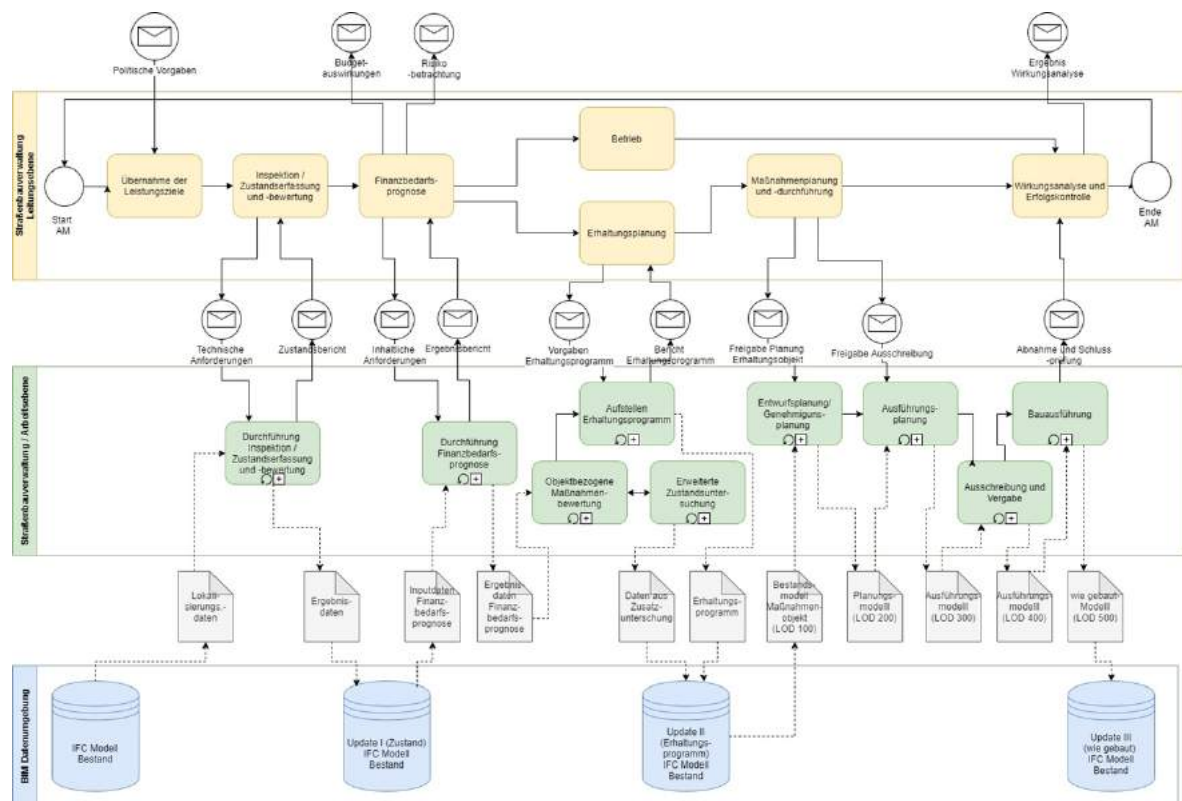


Abbildung 2-32: Prozessmodell Asset Management



Es wird weiter davon ausgegangen, dass das „wie gebaut“ Modell entsprechend den jeweiligen vertragsrechtlichen Erfordernissen detailliertere Daten beinhaltet, als für die spätere Lebenszyklusbetrachtung benötigt wird. Die für die Lebenszyklusbetrachtung benötigten Daten können jedoch einfach aus dem „wie gebaut“ Modell abgeleitet werden. Die Vollständigkeit der Daten für eine Lebenszyklusbetrachtung sind im weiteren Verlauf gesondert zu überprüfen. Die Beschreibungen sind an dieser Stelle allgemein gehalten, eine Spezifizierung wird im späteren Verlauf vorgenommen.

2.5.3 Ableitung der Teilprozesse

In der bisherigen Darstellung wurde versucht, einen möglichst kompletten Überblick über den Ablauf im Asset Management in einer Straßenbauverwaltung zu geben. Nachfolgend werden nun die wesentlichen Teilprozesse für das Projektziel ausgewählt. Dabei wird wie bereits erwähnt von einem Bottom Up Ansatz ausgegangen. Das bedeutet eine Modellierung der Prozesse und den damit verbundenen Daten auf Objektebene, da diese Ebene die höchsten Datenanforderungen samt Detaillierungsgrad aufweist. Netzweite Auswertungen und Auswertungen für die weiteren Betrachtungsebenen im Asset Management können durch Datenaggregationen gewonnen werden. Als wesentliche Teilprozesse werden in diesem Zusammenhang (1) der Teilprozess Inspektion/Zustandserfassung und -bewertung, (2) der Teilprozess Finanzbedarfsprognose, (3) der Teilprozess Erhaltungsplanung, (4) der Teilprozess Entwurfs-/Genehmigungsplanung, der Teilprozess (5) Ausführungsplanung und der Teilprozess (6) Ausführungsplanung abgegrenzt. Auf die Prozesse (1), (3), (5) und (6) wird im weiteren Verlauf der Bearbeitung der Schwerpunkt gelegt. Zunächst werden alle Teilprozesse kurz umrissen, um den im übergeordneten Prozessmodell dargestellten Ablauf vollständig abzubilden.

2.5.3.1 Teilprozess Inspektion/Zustandserfassung und -bewertung

Der Teilprozess „Inspektion/Zustandserfassung und -bewertung“ ist unabhängig von der Fragestellung formuliert, ob Bauwerke oder Straßenbefestigungen erfasst werden. Zur Erledigung der Aufgabe der Inspektion von Bauwerken oder der Zustandserfassung und -bewertung von Straßenbefestigungen wird davon ausgegangen, dass dies von externen Dienstleistern vorgenommen wird. Die Straßenbauverwaltung selbst fungiert als ausschreibende Stelle, führt aber im Verfahren eine umfangreiche Qualitätskontrolle durch. Grundsätzlich spielt die Qualitätskontrolle eine entscheidende Rolle für Genauigkeit und Verlässlichkeit der Zustandsdaten und damit der Zustandsbewertung. Der gesamte Ablauf ist in Abbildung 2-33 dargestellt.



In der Vorbereitung des Erfassungsauftrages werden die jeweiligen Lokalisierungsdaten für die betrachteten Anlagenelemente aus der IFC/BIM Datenbank herausgelesen, von der Straßenbauverwaltung überprüft und an den Verfasser übergeben. Die Lokalisierungsdaten definieren damit dem jeweiligen Arbeitsauftrag. Der Erfassungsauftrag endet mit der Übergabe gegebenenfalls der sogenannten Rohdaten und der Ergebnisdateien. Die Ergebnisse werden in die IFC/BIM Datenbank (Modell Bestand) zurückgespielt, was durch die Übernahme der aktuellen Zustandsdaten zum Update I führt.

Bezüglich der Übergabe der Rohdaten ist zwischen dem Fall der Bauwerksinspektion und der Zustandserfassung und -bewertung der Fahrbahnoberflächen zu unterscheiden. Rohdaten stellen beispielsweise bei Fahrbahnoberflächen die physikalischen Messdaten und auch die Orthofotos dar, auf deren Grundlage die Zustandsbewertung vorgenommen wird (Beispiel in Abbildung 2-34). Deren Ergebnisse werden bezogen auf Bewertungsabschnitte mit einer festen Länge (beispielsweise 50 m oder 100 m) in einer Ergebnisdatei abgelegt. Hierbei unterscheiden sich die D-A-CH Länder bezüglich der Datenspeicherung. In Deutschland werden alle Daten auf dem sogenannten IT-ZEB Server gespeichert, sodass es zu jedem Zeitpunkt einen Rückgriff auf Erfassungsergebnisse, auf verschiedene Bearbeitungsschritte und auf alle Bilddateien möglich ist. In Österreich werden in der Regel lediglich die Ergebnisdateien an die Straßenbauverwaltung übergeben, die sich vertraglich einen Rückgriff auf die Rohdaten sichert, die beim Erfasser aufbewahrt werden. In der Schweiz werden nach derzeitigem Kenntnisstand lediglich die Ergebnisdateien übergeben. Insofern ist im weiteren Verlauf zu klären, in welchem Umfang Rohdaten aus der Erfassung der Straßenbefestigung mit in die IFC-Datenbank sinnvoll übergeben werden. Bei der Inspektion der Bauwerke stellt sich dieses Problem nicht, da dort Rohdaten in der Regel übergeben werden. Dies können beispielsweise Laserscandaten oder ebenfalls Orthofotos sein. Für die Straßenoberflächen wäre daher zu überlegen, neben den Ergebnisdateien ebenfalls die Orthofotos zur genaueren Schadensansprache mit in dem IFC Modell Bestand abgelegt werden.

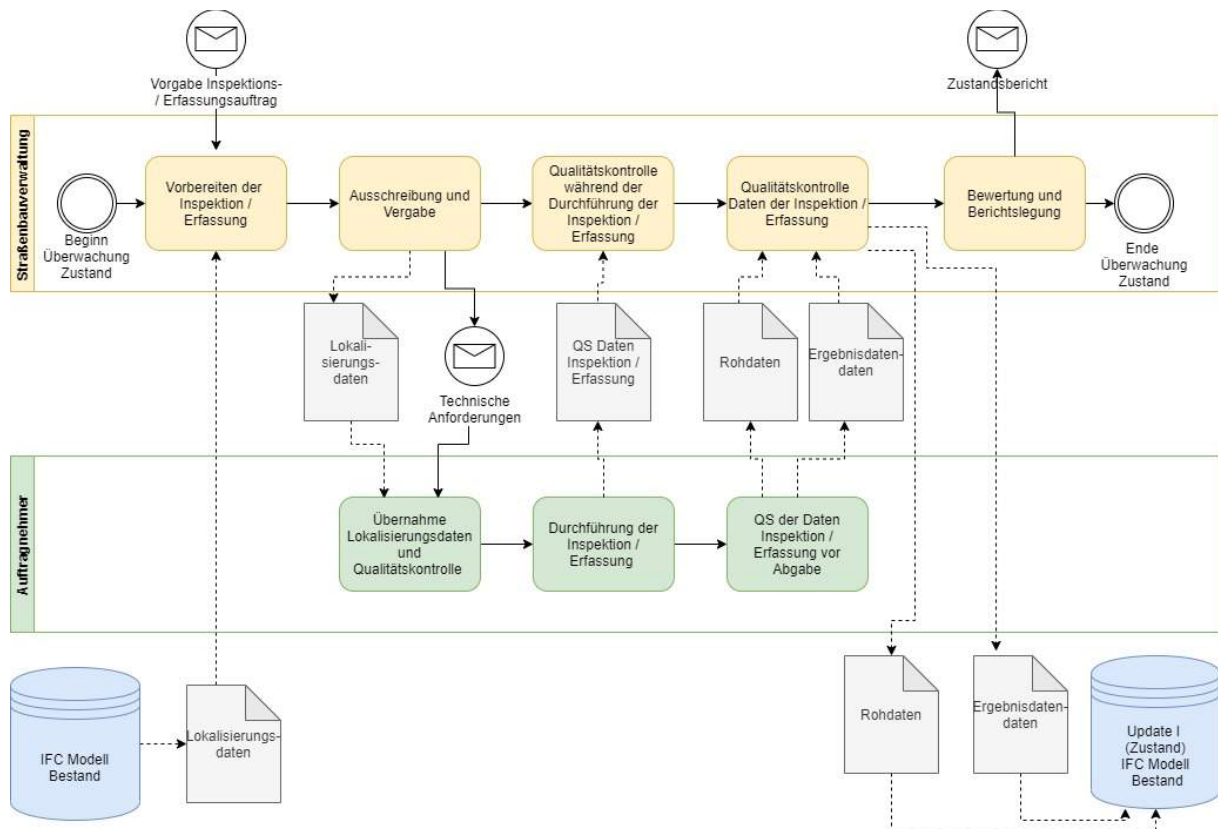


Abbildung 2-33: Teilprozessmodell Inspektion / Zustandserfassung und -bewertung

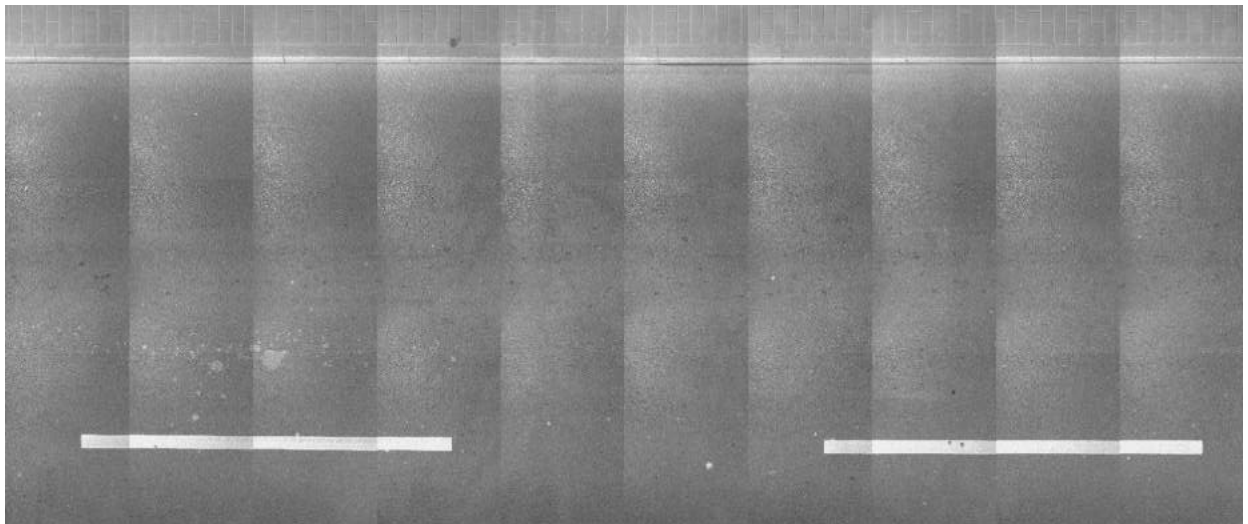


Abbildung 2-34: Beispiel Orthophoto Fahrbahn

Ein weiterer hier noch nicht berücksichtigter Aspekt ist die Aufnahme von Erfassungsergebnissen aus erweiterten Verfahren, wie beispielsweise Tragfähigkeitsmessungen mit dem TSD oder Georadarmessungen.



2.5.3.2 Teilprozess Finanzbedarfsprognose

Der Teilprozess Finanzbedarfsprognose gehört nicht zu den nicht weiter fokussierten Teilprozessen im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes, soll aber zum Gesamtverständnis kurz angesprochen werden. In Abbildung 2-35 ist eine Grobstruktur zum Erstellen der Finanzbedarfsprognose für Fahrbahnbefestigungen dargestellt. In den D-A-CH Ländern werden unterschiedliche Ansätze für die Durchführung einer Finanzbedarfsprognose verwendet. In der Regel wird dafür spezialisierte Software eingesetzt, die zwar über eine Dateneingangsschnittstelle und eine Datenausgangsschnittstelle verfügen, ansonsten aber ein proprietäres System darstellen. Im Wesentlichen benötigen diese Systeme Daten aus dem Bestandsmodell, meist Daten zum Bestand, zum Zustand und verkehrliche Daten, die aus den vorhandenen Systemen ausgelesen werden. Datenarten und Datenumfang hängt dabei vom jeweilig verwendeten Modellansatz und der speziellen Software ab. Aus diesen Daten wird bereits auf der Ebene proprietärer Systeme eine Eingangsdatei für die Software erstellt, mit Hilfe von verschiedenen Modellannahmen zur Maßnahmenzuordnung, zu einem Kostenmodell und einem Nutzen-Modell werden verschiedene Szenarien berechnet. Die Ergebnisse der Szenarienberechnung liefert eine Entscheidungsgrundlage auf politischer Ebene für die Zuordnung eines Erhaltungsbudgets über einen bestimmten Zeitraum. Im Allgemeinen können die Ergebnisse der Finanzbedarfsprognose ausgelesen werden, diese werden aber für die Aufnahme in einem IFC/BIM Modell nicht als zielführend angesehen. Im Bereich der Fahrbahnbefestigungen rechnet das Modell auf der Basis von objektbezogenen Erhaltungsabschnitten, die als Grundlage für die Aufstellung des späteren Erhaltungsprogramms dienen können. Deswegen ist es im Prozessablauf sinnvoll, diese fiktive Maßnahmenliste projektbezogen als Grundlage für die weitere Erhaltungsplanung mitzuführen. Eine Aufnahme dieser Liste in das IFC/BIM Modell wird aber als nicht zielführend angesehen, da dies lediglich ein Zwischenergebnis in der Erhaltungsplanung darstellt. Da ein PMS-System, wie es in Deutschland oder Österreich angewandt wird, abschnittsbasiert arbeitet, kann die dem PMS-Berechnungsergebnis zugrunde liegende Maßnahmenliste ausgelesen werden und mit weiteren Bearbeitungsschritten in ein Erhaltungsprogramm umgesetzt werden. Für den Bereich des Bauwerksmanagements ist dies nicht direkt vergleichbar, jedoch stellt auch diese Liste einen Zwischenstand der Erhaltungsplanung dar, die aber wie auch bei den Fahrbahnen Grundlage für die weitere Erhaltungsplanung ist.

aber, dass sowohl die Ergebnisse der erweiterten Zusatzuntersuchungen als auch die Ergebnisliste bzw. das priorisierte Erhaltungsprogramm im IFC/BIM Bestandsmodell hinterlegt werden. Damit ergibt sich das Update II im IFC-Modell Bestand. Die zusätzlichen Ergebnisse aus den Untersuchungen sowie die Ergebnisse aus dem Erhaltungsprogramm sind damit im allgemeinen Modell sichtbar.

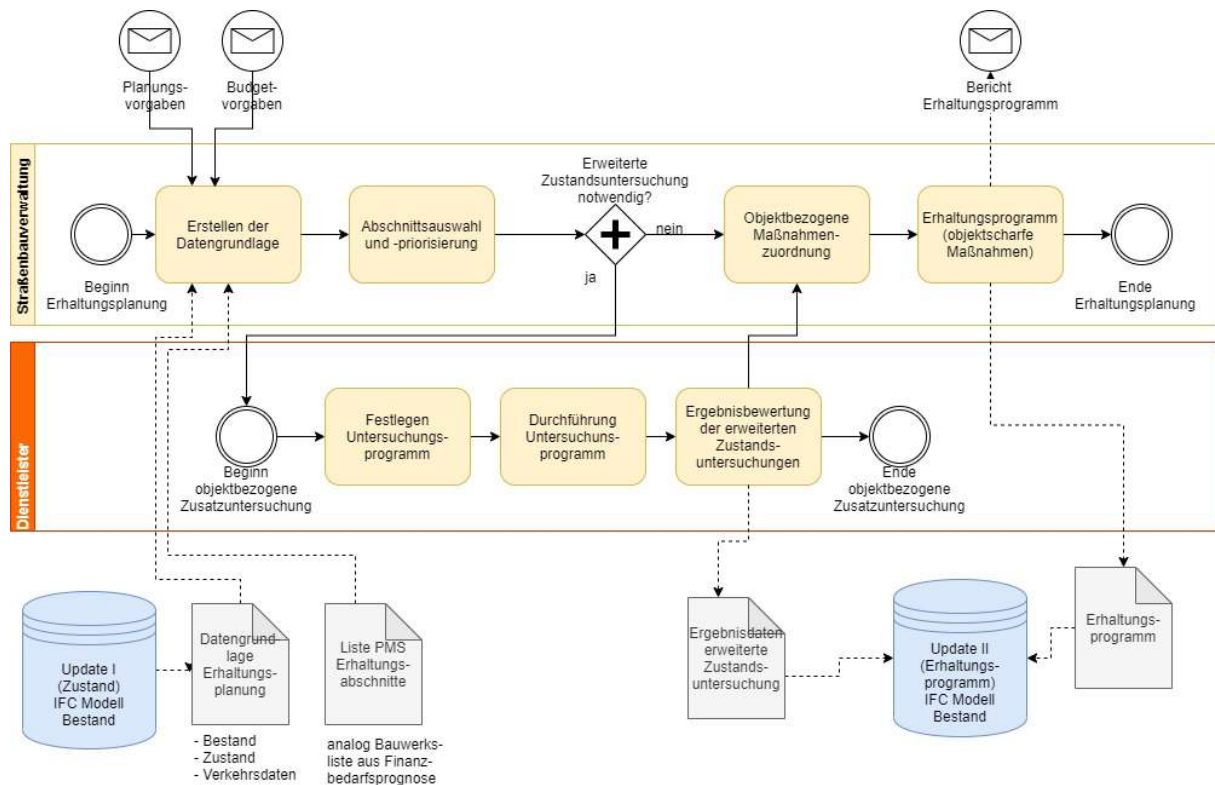


Abbildung 2-36: Teilprozessmodell Erhaltungsplanung

2.5.3.4 Teilprozesse Entwurfs-/Genehmigungsplanung und Ausführungsplanung

Während die Prozesse bislang eine mehr netzorientierte Sichtweise hatten, auch wenn einzelne Objekte vergleichend betrachtet wurden, adressieren die nun folgenden Prozesse ein jeweils einzelnes Erhaltungsobjekt und repräsentieren damit eine rein objektorientierte Sichtweise. Aus der Liste des Erhaltungsprogramms im Update II wird nun exemplarisch eine definierte Erhaltungsmaßnahme ausgewählt und dem weiteren Planungsprozess unterzogen. Dazu wird in Abbildung 2-37 der Prozessablauf bis zur Genehmigungsplanung beschrieben, in Abbildung 2-38 dann der Prozessablauf bis zum Ende der Ausführungsplanung. Damit werden die verschiedenen Planungsstufen mit ihrem gleichzeitig zunehmenden



Detaillierungsgrad dargestellt. Anzumerken ist, dass die jeweiligen Planungsergebnisse zwar IFC-konform geplant werden, also ein Koordinationsmodell in einer gemeinsamen Planungsumgebung vorgehalten wird, diese Ergebnisse aber nicht in das Bestandsmodell zurückgespielt werden. Dies geschieht erst wieder nach Durchführung und Abschluss der Baumaßnahmen später in das „wie gebaut“ Modell. Abgebildet sind dabei die in den jeweiligen Ländern üblichen Planungsprozesse, in dem eine Entwurfs- oder Genehmigungsplanung erstellt wird und in eine Ausführungsplanung umgesetzt wird. Der Detaillierungsgrad dieser Planungen unterscheidet sich auch im konventionellen Planungsprozess, in dem an einem größeren Planmaßstab bis zur Ausführungsplanung mit jedem Schritt eine Detaillierung der Planunterlagen vorgenommen wird. Dies wird auch mit der bereits beschriebenen LOD-Konzeption abgebildet. Für den Detaillierungsgrad bestehen jeweils länderspezifische Anforderungen, beispielsweise sind in Deutschland einheitliche Vorgaben für die Planerstellung in den RE (BMVBS 2012) geregelt. Anforderungen an die technische Beschreibung in der Ausschreibung befinden sich beispielsweise Standardleistungskatalog (FGSV 2020). Dabei muss darauf hingewiesen werden, dass diese Planungsstufen in vielen Fällen so oder in ähnlicher Form eingesetzt werden, bei reinen Erhaltungsmaßnahmen je nach Art und Umfang der Maßnahme Planungsstufen aber vereinfacht werden können. Eine Erweiterung oder ein genereller Umbau einer vorhandenen Anlage wird in der Regel ein detaillierteres Vorgehen erfordern als die Planung und Durchführung einer Deckenerneuerung. Insofern wurde versucht, den entsprechenden Prozessablauf möglichst allgemeingültig zu halten, der aber je nach Art und Umfang der Maßnahme davon abweichen kann. Für die Frage des Datenflusses hat dies vom generischen Modell her keinen Einfluss, da eben trotzdem verschiedene Detaillierungsgrade übergeben werden, an deren Ende nach der Bauausführung dann das wie gebaut Modell in die Bestandsdatenbank zurückgegeben wird.

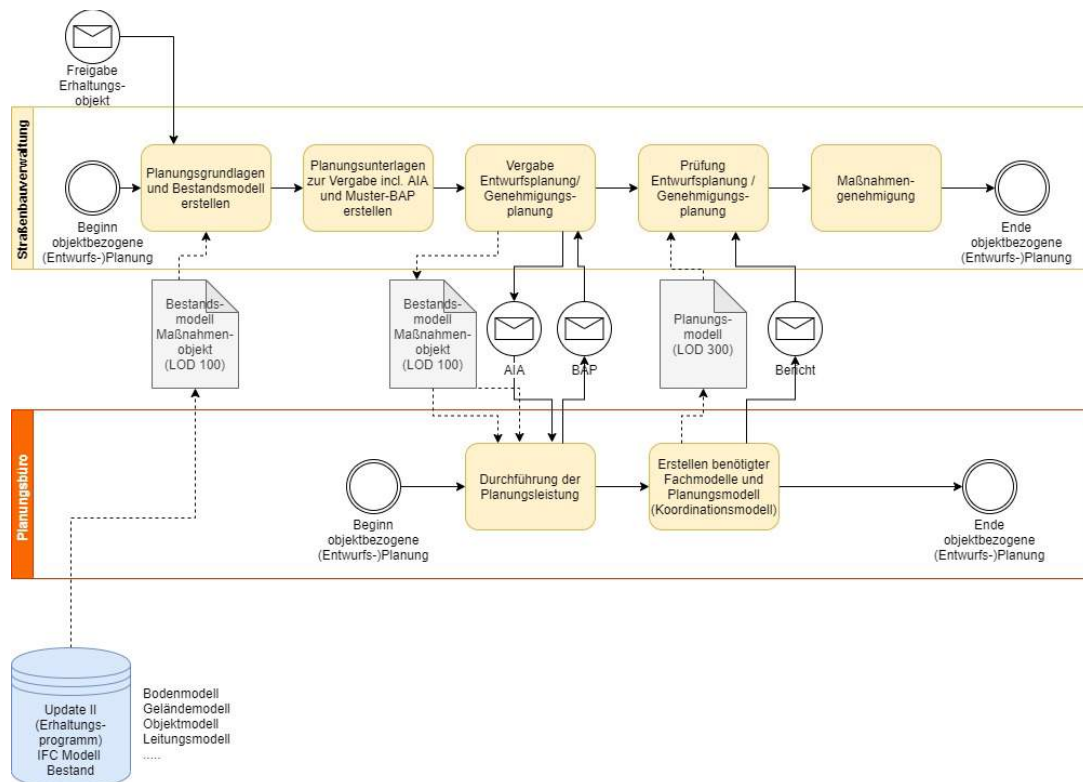


Abbildung 2-37: Teilprozessmodell Genehmigungsplanung

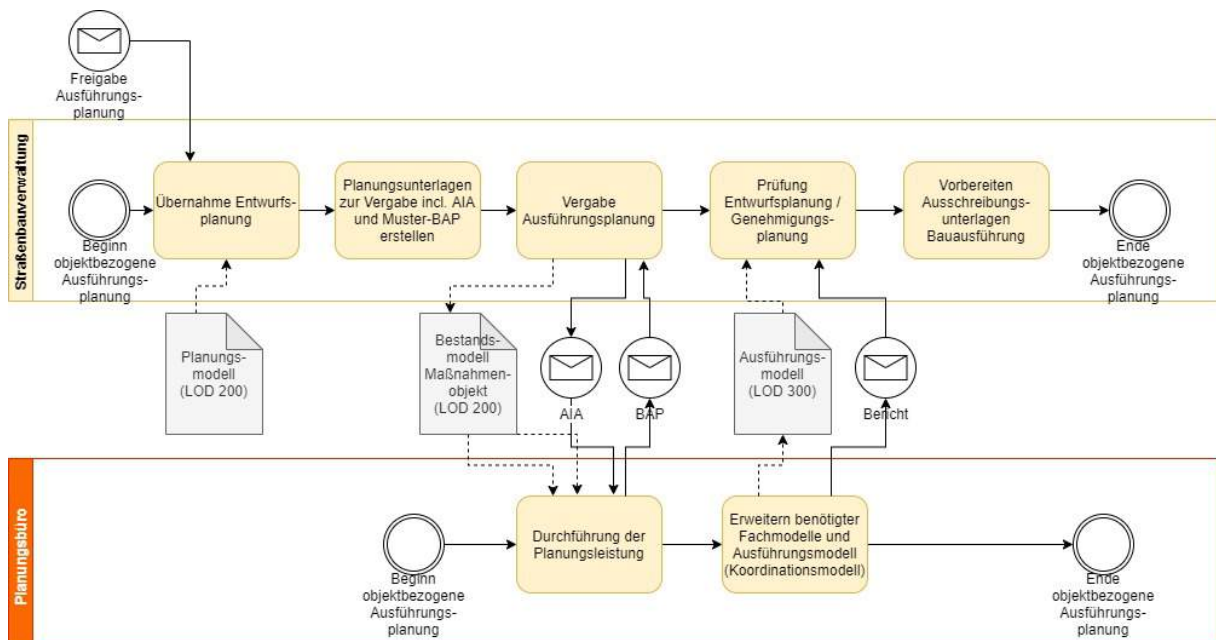


Abbildung 2-38: Teilprozessmodell Ausführungsplanung

2.5.3.5 Teilprozess Baudurchführung

Den Abschluss der gesamten Prozesskette bildet der Teilprozesse der Baudurchführung wie in Abbildung 2-39 dargestellt. Für den vorliegenden Kontext ist wesentlich, dass als entscheidendes Ergebnis an dessen Ende das letzte Update des IFC-Modells im Gesamtprozess stattfindet und damit das sogenannte „wie gebaut“ Modell erstellt und eingepflegt wird. Sichtbar ist wiederum die Übergabe des Koordinationsmodells gemäß der LOD-Klassifikation, die in einer Grundstruktur am Bau Beteiligten sowie die jeweiligen Datenübergaben. Die in das Bestandsmodell einzupflegen dem Daten ergeben sich aus den Anforderungen des Technischen Regelwerks sowie den Anforderungen an Datenarten und Inhalte für die Fortführung des Asset Management im Lebenszyklus.

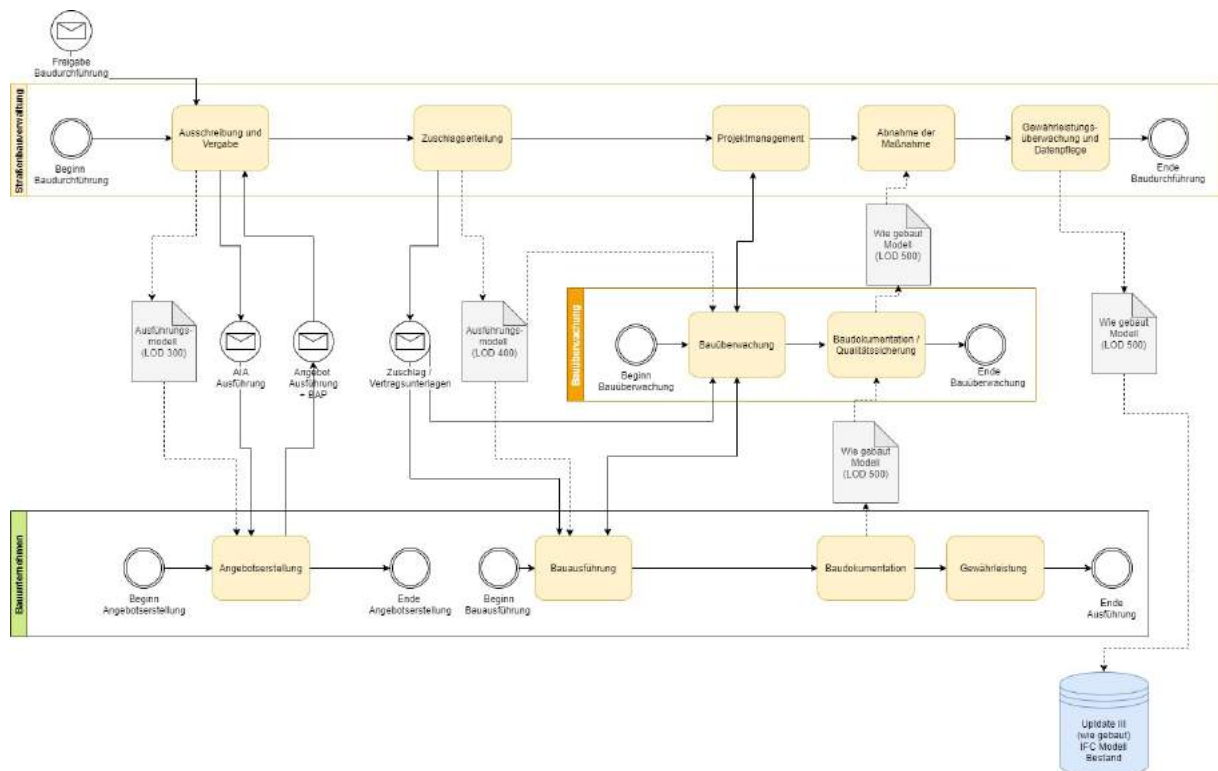


Abbildung 2-39: Teilprozessmodell Ausführungsplanung

2.6 Kapitelzusammenfassung

In Kapitel 2 wurde der Stand des Wissens in den D-A-CH-Ländern in Hinblick auf die in diesem Projekt betrachteten Themenfelder BIM, Management der Straßeninfrastruktur und Datenflüsse über die Lebensdauer zusammengetragen. Dazu wurden zunächst die in diesem Kontext relevanten Begriffe zusammengestellt (vgl. Anhang A1). Die Analyse des Standes der



Technik im Bereich der BIM-Methode zeigt, dass BIM im Kern einen abgestimmten Datenaustausch sicherstellen soll. Eine generelle Änderung der ingenieurtechnischen Arbeitsmethoden oder der Prozesse ist damit nicht verbunden. Diese Voraussetzung ist für das weitere Projekt essentiell. Insofern ist die Grundlage für die BIM-Methode die Definition und Auswahl spezifischer Anwendungsfälle, die mit den dazu relevanten Informationsanforderungen verknüpft werden müssen. Ein Vergleich der Anwendungsfälle in den D-A-CH- Ländern zeigt für Deutschland und Österreich weitreichende Gemeinsamkeiten, aber auch spezifische Unterschiede, für die Schweiz ist aktuell keine Definition vorhanden, dies wird über die Arbeiten z. B. am BIM-Profil-Server aufgestellt.

Die Definition von einheitlichen Informationsanforderungen aufbauend auf den Prozessen über die Objektklassifizierung bis hin zur Organisation und Festlegung von Merkmalsgruppen und Merkmalen stellt eine wesentliche Grundlage dar. Der IFC-Standard dient als Grundlage, allerdings muss der IFC für den Verkehrswegebau projektspezifisch erweitert werden. Im vorliegenden Projekt wird auf IFC 4.1 zurückgegriffen, aktuell bekannte Erweiterungsvorschläge von Building smart wurden aufgegriffen. Eine abschließende Standardisierung liegt noch nicht vor.

Die Sichtung der Literatur zeigt, dass sich die Anwendungsbereiche von BIM im Bereich des Straßenbaus bisher vor allem auf die Planungsphase konzentrieren. Erste BIM-Ansätze im Rahmen der Betriebsphase wurden u. a. innerhalb der Projekte BIM4ROAD und AMSfree umgesetzt. Hierbei zeigten sich zwei Herausforderungen: Zum einen besteht die Anforderung, die für das Asset Management notwendigen Informationen zu definieren und diese aus der Bauphase in die Betriebsphase zu übergeben. Ebenso sind die Informationsänderungen in der Betriebsphase zu definieren. Zum anderen ist festzustellen, dass die bisherigen IT-Systeme nicht in der Lage sind, ein BIM Modell direkt zu verwalten. Zudem ist die Verknüpfung und Überführung unterschiedlicher Datenquellen, Datenmodelle oder Datenformate eine bekannte Herausforderung. Heutzutage werden häufig Ontologien bzw. sogenannte Linked Data Konzepte für die Zusammenführung und den Abgleich von Definitionen oder Begriffen verwendet.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, den fachlichen Prozess des Asset Managements zu definieren, soweit dieser für das Projekt relevant ist, um den Informationsbedarf ableiten zu können. Zur Bestandsüberwachung werden für die Fahrbahn u.a. schnellfahrende Messsysteme für die ZEB eingesetzt. In den D-A-CH-Ländern erfolgt dies weitgehend ähnlich mit Abweichungen bei einzelnen Zustandsgrößen. Bei Bauwerken bestehen allerdings unterschiedliche Gliederungsebenen zur Schadensbeschreibung. Die weiteren Schritte zur

Erhaltungsplanung, bestehend aus der Definition der Erhaltungsabschnitte, der Zustandsprognose, der Ermittlung von Handlungsoptionen und Wirkungsanalyse sind vom Ablauf ebenfalls ähnlich, hier auch mit länderspezifischen Unterschieden. Die länderspezifischen Unterschiede erlauben jedoch die Definition eines allgemeinen und anpassbaren Prozessmodells. Dies wurde in Anlehnung an die EN ISO 55000 entwickelt. Ausgehend von der dort beschriebenen Unterteilung in strategische, taktische und operative Aufgaben wurden die für das vorliegende Projekt notwendigen Teilprozesse extrahiert und mit Hilfe der BPMN-Methode detailliert dargestellt. Diese beziehen sich auf die relevanten Teile, der Betriebsphase, also ZEB, Erhaltungsplanung und Umsetzung der Maßnahmen. Daraus wurden für das Datenmodell drei wesentliche Datenübergabepunkte abgeleitet, ein bestehendes Bestandsmodell oder initiales Modell wird als Grundlage vorausgesetzt. Dieses initiale Modell muss die Übergabeinformation vom Abschluss der Bauphase in den Beginn der Betriebsphase enthalten. Die dann notwendigen Informationsergänzungen oder -aktualisierungen werden nachfolgend als Updates bezeichnet. Dies sind die Ergebnisse der routinemäßigen Zustandserfassung (Update 1), die Ergebnisse der Erhaltungsplanung (Update 2) sowie die Änderungen im Bestand nach Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme (Update 3). Im Ergebnis dieses Kapitels liegt ein Prozessmodell vor, das für die D-A-CH-Länder erweiterbar ist, soweit die nationalen Besonderheiten dies erfordern. Dies dient als Grundlage für die weitere Bearbeitung des Projektes.

3 DATENHALTUNG IN DEN D-A-CH LÄNDERN

3.1 Allgemeines

Auf den in Kapitel 2 vorgestellten Grundlagen zu den Bereichen des BIM und des Managements der Straßeninfrastruktur erfolgt im Folgenden die Erarbeitung eines erweiterbaren durchgängigen Datenflussmodells für die Straßenbefestigungen zur Darstellung einer einheitlichen Datenverwaltung. Dazu wird zunächst der Stand der Technik bei der Datenhaltung während des Bauprozesses und im Rahmen des Asset Managements in den DACH-Ländern analysiert. Mit Hilfe eines erweiterbaren Datenflussmodells wird schließlich der Datenbedarf und -fluss an baustofftechnischen Daten aus der Bauausführung sowie deren sinnvolle Verknüpfung mit existierenden Informationssystemen für die D-A-CH-Länder identifiziert. Dies bildet die Ausgangslage für die anschließende Erstellung eines BIM-Konzeptes dar.



3.2 Datenhaltung im Bauprozess

Zur Datenhaltung im Bauprozess kommen in den DACH-Ländern unterschiedliche Projektplattformen bzw. virtuelle Projekträume zur Anwendung. Diese Projektplattformen stellen die zentrale Datenquelle für alle projekt-spezifischen Unterlagen im Zuge der Errichtung dar. Dabei werden die Planungsunterlagen und Daten, die im Zuge der Erstellung gesammelt werden, dem kompletten Projektteam (Besteller, Bereitsteller, Planer, Bauaufsicht, Prüfer...) zur Verfügung gestellt. Einige Projektplattformen verfügen bereits integrierte Viewer, welche die Darstellung von *.ifc oder BIM-Modellen in prioritären Dateiformaten (*.dwg, *.rvt, usw.) erlauben.

In den virtuellen Projekträumen können Planprüfläufe definiert und abgewickelt werden. Die Projektplattformen werden durch unterschiedliche Berechtigung gesteuert. Einige Anbieter ermöglichen den digitalen Planprüflauf mit Erstellung von Prüfanmerkungen (sog. „Redlinings“), welche in Berichte exportiert werden können. Änderungen in den Plan- und Modellversionen können teilweise automatisiert dargestellt werden.

Eine zentrale Projektplattform über alle Leistungsphasen wird im Moment in den meisten Fällen noch nicht praktiziert. Eine typische Ordnerstruktur zur Organisation von Planungen in der BIM-Methodik lautet:

- (engl.: „work in progress“ = WIP)
- (engl.: „shared“)
- (engl. „published“)
- (engl. „archive“)

Die Datenhaltung wird in den meisten Fällen von den Bestellern definiert und gestellt. In Ausnahmefälle obliegt die Anschaffung den Auftragnehmenden (Bauunternehmer oder Planer). Auf dem Markt herrscht ein umfangreiches Angebot von Lösungen, einzelne Softwarehersteller bieten mehrere Produktlösungen an. Die gängigsten Produkte im deutschen Sprachraum, neben Cloud-Anwendungen, sind folgend alphabetisch aufgelistet:

- Albert.ing Squirrel³
- AUTODESK BIM 360⁴

³ <https://www.albert-ing.com/>, 03.08.2020

⁴ <https://www.autodesk.com/bim-360/>, 15.07.2020

- BENTLEY Projectwise⁵
- c.des (Evi Informationstechnologie GmbH)⁶
- Dalux⁷
- Eplass CDE (tp Holding GmbH)⁸
- exakt (Project Network AG)⁹
- Mobuto® FX¹⁰
- MSP „Management-System-Projekte“
- ORACLE Aconex¹¹
- Thinkproject tpCDE (tp Holding GmbH)¹⁴
- TRIMBLE Viewpoint¹²
- TRIMBLE Connect¹³

3.2.1 Funktionen und Anforderungen an gemeinsame Datenumgebungen

Der Einsatz von „Gemeinsamen Datenumgebungen“ (englisch: Common Data Environment (CDE)) ist ein wesentliches Werkzeug zur kollaborativen Erstellung von Informationen in BIM-Projekten. Die EN ISO 19650 (DIN 2019b) listet einige grundlegende Vorteile einer CDE für das container-basierte Informationsmanagement auf. Hierzu zählen die Senkung des Zeit- und Kostenaufwandes, die Nachvollziehbarkeit von Informationslieferungen und die Eindeutigkeit von Urhebern und Verantwortlichkeiten. In der DIN SPEC 91391-1 werden die Mehrwerte einer CDE für eine modellbasierte kollaborative Arbeitsweise in BIM-Projekten weiter detailliert und bis auf Funktionsebene präzisiert. Die grundlegenden Komponenten, die Aufgaben und Anwendungsfälle werden dargestellt und der zur Erfüllung der Aufgaben erforderliche, minimale Funktionsumfang wird beschrieben. Auf weitergehende optionale Eigenschaften und Funktionen wird hingewiesen. Dieses unterstützen Besteller bei Beurteilung und Beauftragung von CDEs. CDEs werden in allen Projektphasen entlang des Lebenszyklus eingesetzt. Daher ist ein paralleler oder aufeinander folgender Einsatz von Plattformen unterschiedlicher

⁵ <https://www.bentley.com/en/products/brands/projectwise>, 15.07.2020

⁶ <http://www.cdes.at/>, 15.07.2020

⁷ <https://www.dalux.com/>, 15.07.2020

⁸ <https://group.thinkproject.com/at/>, 03.08.2020

⁹ <https://www.projectnetworkworld.com/>, 03.08.2020

¹⁰ <https://www.mobuto.net/tutorials/fx/FX-basics>, 03.08.2020

¹¹ <https://www.oracle.com/industries/construction-engineering/aconex-project-controls/>, 03.08.2020

¹² <https://www.viewpoint.com/>, 03.08.2020

¹³ <https://connect.trimble.com/>, 03.08.2020



Hersteller regelmäßig anzutreffen. Im Sinne eines reibungslosen Datenaustausches im Projektverlauf sollten CDEs daher untereinander verlustfrei Daten austauschen können.

In der EN ISO 19650-2 (DIN 2019b), werden die Prozesse zur Einrichtung einer CDE zum Zwecke des Information Management während der Auslieferungsphase eines Bauwerks (Planen und Bauen) näher spezifiziert. Folgenden Funktionalitäten sollen unterstützt werden:

- eindeutige Identifizierung eines Informationscontainers
- vereinbarte Kodifizierung in der Benennung eines Informationscontainers
- Attributierung eines Informationscontainers zur Darstellung des Status, der Revisionsgeschichte und einer Klassifikation
- Protokollierung von Zustandsübergängen eines Informationscontainers
- Protokollierung der Ausführung und Ausführenden auf den Informationscontainern
- Zugangskontrolle auf Informationscontainer-Ebene

Die EN ISO 19650-1 spezifiziert drei Entwicklungsstufen des Informationsmanagements. Diese Entwicklungsstufen spiegeln sich ebenfalls in deren Umsetzung innerhalb einer CDE wider. Die EN ISO 19650-1, als auch die DIN SPEC 91391-1, beziehen sich in erster Linie auf Reifegrad 2, Eigenschaften des Reifegrads 1 und 3 finden jedoch teilweise ebenfalls Anwendung.

Die Reifegrade 1 und 2 basieren nach EN ISO 19650 auf Informationscontainern. In Stufe 1 kommen vorwiegend nationale Standards zum Einsatz. In Reifegrad 2 werden sowohl unstrukturierte Daten als auch strukturierte Daten in Form von Modellen verarbeitet. Durch Zusammensetzen getrennt entwickelter Teilmodelle wird ein Gesamtmodell erstellt (Federated Model nach EN ISO 19650). Für den Reifegrad 3 existieren derzeit noch keine Standards. Das Datenmodell einer Level 3-CDE erweitert jedoch nach allgemeinem Verständnis den Level 2 um objektbasierte Modellinformationen. Dadurch werden Modellinhalte bis auf die Aggregationsebene einer Verarbeitung in Datenbanken zugänglich. Die Aggregationsgrade nach DIN SPEC 91391-1 (DIN 2019c) sind in der Abbildung 3-1 dargestellt.

| | CDE Level 2 (containerbasiert) | | CDE Level 3 (datenbankbasiert) | | |
|-----------------------------------|--|---|---|--|---|
| Aggregationsstufe | Sammlung, Modelle und Dokumente | Einzelmodell, Einzeldokument | Elementgruppe, Modell-ausschnitt | Bauwerks-element | Element-eigenschaft |
| Beispiel | 5D-Modell, CAD-Projektdatei mit Modell und Zeichnungen | 3D-Bauwerksmodell, Vertragsdokument, CAD-Zeichnung | Modell der Wände eines Geschosses, Modell eines Bauabschnittes, 3D-Markierung | Modell bzw. Datensatz eines Bauwerkselementes (z. B. Stütze, Raum) | Datensatz mit Eigenschaften eines Bauwerkselementes (z. B. Materialparameter einer Betonstütze) |
| Aggregationsgrad | hoch | mittel | klein | | |
| Vorteile/Nachteile | geringe Anzahl an Ressourcen, geringer Verwaltungsaufwand/Kein Zugriff auf Detailinformationen | mittlere Anzahl an Ressourcen, mittlerer Verwaltungsaufwand/Mäßiger Zugriff auf Detailinformationen | hohe Anzahl an Ressourcen, hoher Verwaltungsaufwand. Direkter Zugriff auf Detailinformationen | | |
| Geeignete Datenverwaltungssysteme | Gemeinsame Dateiablage, Dokumentenmanagementsystem, Internetbasierte Projektplattform | Dokumentenmanagementsystem, internetbasierte Projektplattformen, Produktdatenmanagementsystem | Produktdatenmanagementsystem, Produktmodellserver | | |

Abbildung 3-1: Aggregationsgrade nach DIN SPEC 91391-1 (DIN 2019c).

Klare Grenzen für die Sichtbarkeit von Informationen und der Rechte an eigenen Daten ist sehr wichtig. Um dieses sicherzustellen, dürfen Informationen nur durch einen expliziten Übertragungsvorgang für Dritte verfügbar gemacht werden. Der Schutz intellektueller Eigentumsrechte unterliegt rechtlichen Vereinbarungen zwischen den Projektpartnern, muss durch technische Funktionen seitens der CDE unterstützt werden. Das Teilen von Informationen nach dem Lieferprinzip vermeidet sowohl den unberechtigten Zugriff als auch einen nachträglichen Informationsentzug. Informationen müssen daher ausschließlich durch einen ausdrücklichen Kommunikationsprozess, der auf Basis bindender Verträge zwischen den Projektpartnern etabliert wurde, an andere Projektteilnehmer außerhalb des eigenen Unternehmens weitergegeben werden.

Informationen innerhalb einer CDE sind grundsätzlich zunächst nur für den Ersteller und seine eigene Organisation sichtbar. Eine Erweiterung des Sichtbarkeitshorizonts darf nur durch den Ersteller oder eines Berechtigten erfolgen. Das Teilen von Informationen ist ein Prozess unter

der alleinigen Kontrolle des Informationserstellers. Nur dieser kann seine eigenen Informationen teilen, indem er Informationen explizit an einzelne oder alle Projektteilnehmer übermittelt.

Durch das Teilen nach dem Lieferprinzip können einmal übermittelte Informationen nicht mehr entzogen werden. Informationsempfänger erhalten so die Sicherheit, dass einmal geteilte Informationen verfügbar bleiben. Das ineffiziente Anlegen von lokalen Sicherheitskopien kann dadurch entfallen. Das Teilen durch gemeinsamen Ordnerzugriff schließt dagegen die Möglichkeit des Zugriffsentzugs ein und ist als Mechanismus der Informationsbereitstellung weniger vorteilhaft.

3.2.2 Deutschland

In Deutschland gibt es aufgrund des föderalen Systems im Moment noch keinen eindeutigen „big player“ auf Seiten der Besteller im Straßenbau. Generell werden die Straßenbauprojekte von den Ländern realisiert, lediglich die DEGES realisiert im Zuge der Verkehrsprojekte Deutsche Einheit (VDE) bundesweit hauptsächlich Autobahnen und Bundesstraßen. Bayern ist z. B. in eine Autobahndirektion Nord- und Südbayern unterteilt, in Niedersachsen werden Autobahnprojekte von der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr realisiert.

Im Jahr 2017 hat der Bund eine Neuordnung der Bund-Länder-Finanzierung beschlossen und die Reform der Bundesfernstraßenverwaltung beschlossen. Mit der Reform erfolgen seit dem 1. Juni 2021 Finanzierung, Bau, Betrieb, Verwaltung, Erhaltung und Planung durch die neu gegründete „Die Autobahn GmbH des Bundes“. Die bestehenden Verwaltungseinheiten werden gebündelt; die neu gegründete Gesellschaft wird mit 15.000 Mitarbeiter in über 280 Standorten (41 Außenstellen, 42 Verkehrsleitzentralen, 189 Autobahnmeistereien) 15.000 km Autobahn betreuen.¹⁴

Die Wahl der Datenhaltungssysteme erfolgt momentan aufgrund des föderalen Systems somit hauptsächlich projekt-spezifisch. Ein Datenaustausch erfolgt über verschiedene Server oder Cloud-Systeme, häufig auch noch in physischer Form (CD's + Pläne). Für die neue Autobahngesellschaft mbH „Die Autobahn“ sind Konzepte in Ausarbeitung. Ein Austausch mit den betreffenden Personen war zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch nicht möglich.

Im Schienenbereich ist die Lage etwas klarer, Neubauprojekte werden hauptsächlich von der Deutschen Bahn DB realisiert. Eine konzernweite Strategie wird im Moment noch nicht verwendet, d. h. die Datenhaltung wird projektspezifisch definiert.

¹⁴ <https://www.autobahn.de/>, 15.07.2020

3.2.3 Österreich

In Österreich werden die meisten Infrastrukturprojekte von den Bundesbahnen (ÖBB) und der Autobahngesellschaft (ASFiNAG) abgewickelt. Der größte öffentliche Bauherr ist in Österreich die Bundes Immobiliengesellschaft (BIG).

Die Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFiNAG) verwaltet in Österreich alle Bundesstraßen (Autobahnen A und Schnellstraßen S). Die ASFiNAG ist für die Planung, Finanzierung, Bau, Erhaltung und Betrieb zuständig. Landes- und Gemeindestraßen werden durch die einzelnen Bundesländer oder Gemeinden realisiert; diese Projekte übersteigen in den meisten Fällen nicht ein gewisses Bauvolumen, weshalb keine speziellen Anforderungen an die Datenhaltung gestellt werden.

Die Datenhaltung während des Bauprozesses bei der ASFiNAG erfolgt derzeit noch größtenteils projektspezifisch, langfristig soll eine Umstellung auf eine zentrale, von der ASFiNAG betriebene Plattform „Exakt“ erfolgen.

Die bisherige Datenhaltung kann auf Basis des Karawankentunnel dargestellt werden. In der Ausschreibungsphase wurden Planungsunterlagen lokal bei den Einzelplanern verwaltet, die Unterlagen wurden lokal auf Basis des Qualitätsmanagements (ISO:9000) abgelegt. Planungsunterlagen wurden nach Bedarf ausgetauscht, Planungsstände wurden auf einen MFT-Server abgelegt. In der Bauphase werden Unterlagen generell auf einen Baustellenserver abgelegt, der Austausch von Protokollen und Plänen erfolgt über thinkproject!. Die Bestandsplanung wird nach Fertigstellung dem Betrieb übergeben.

Die nachfolgende Abbildung Abbildung 3-2 zeigt den Dokumentenlauf für die Übergabe der Bestandsdokumentation in das Datenbanksystem DOXiS der ASFiNAG.

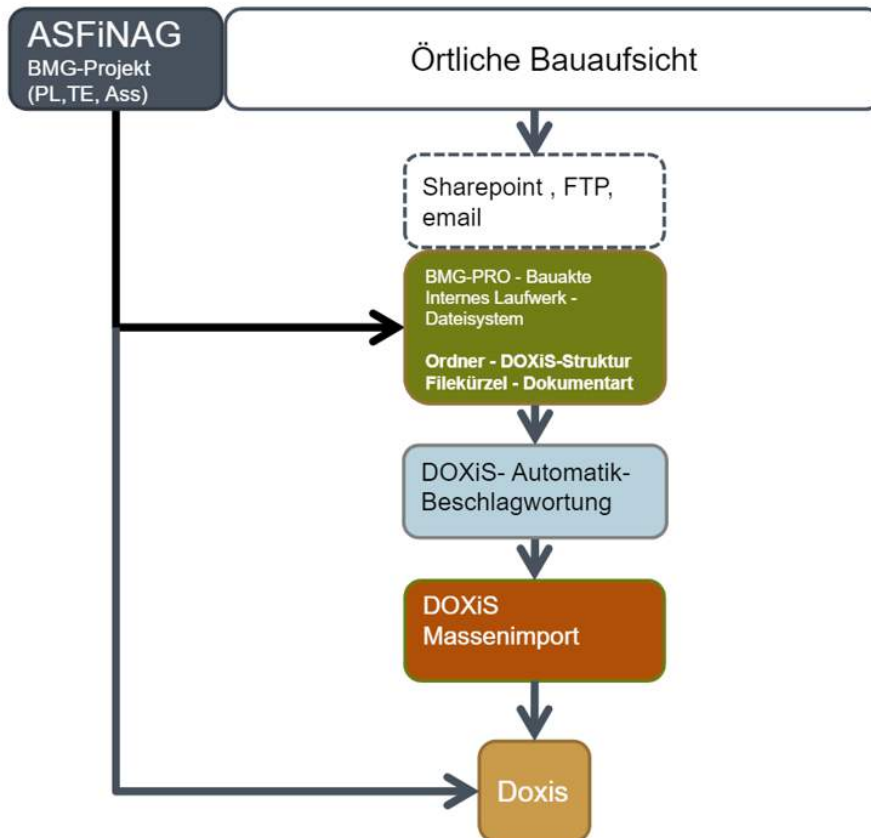


Abbildung 3-2: Prozess Dokumentenlauf Bestandsdokumentation (ASFiNAG 2013)

Das Schienennetz in Österreich wird hauptsächlich von den Bundesbahnen ÖBB verwaltet, dabei werden die Projekte geplant, gebaut und betrieben. Während dem Bauprozess verwendet die ÖBB hauptsächlich die Plattform c.des für die Planverwaltung und Freigabeprozess. Die Unterlagen können über die einzelnen Projektphasen (Einreichung, Ausführung, Bestand) nach sog. Teilziele (z. B. Bauteile) verwaltet werden und in Abhängigkeit der Zuständigkeit gesteuert werden. Die Plattform bietet Funktionen wie Objektliste, Prüfblätter, Planlieferkatalog, Planprüfprozesse, Prüfprotokolle oder Archivierung. Funktionen zur BIM Methodik sind in der aktuellen Version nicht enthalten. Weitere Projektunterlagen, die im Zuge der Errichtung eines Projektes erzeugt werden, wie Prüf- und Abnahmeprotokolle, werden auf einen sharepoint der ÖBB strukturiert abgelegt und Projektabschnitten, bzw. einzelnen Bauteilen zugewiesen.

Die Bundesimmobiliengesellschaft m.b.H. BIG¹⁵ ist der größte Immobilieneigentümer Österreichs und verwaltet die meisten öffentlichen Hochbauten (z. B. Bildungsstätten, Büros, Wohnimmobilien). In der Planungsphase wird generell Mobuto® FX verwendet.

3.2.4 Schweiz

Straßenbaulastträger von Nationalstraßen (Autobahnen und Autostraßen) ist das schweizerische eidgenössische Bundesamt für Strasse (ASTRA). Kantonstraße fallen unter die Verantwortung der einzelnen Kantone, welche teilweise kantonale Autobahnen betreiben. Niederrangige Nebenstraße (Gemeindestraßen) fallen unter die Verantwortung der einzelnen Gemeinden.

Das Fachhandbuch ASTRA regelt im Modul Dokumentation 20 001-50201 (ASTRA 2020), was von Projekten und Anlagen zu dokumentieren ist. Diese Vorgaben sind verbindlich für interne und externe Projektbeteiligte für die Projektdokumentation (PDo) aller Teilphase sowie für die Dokumente ausgeführtes Werk (DaW). Damit soll eine vollständige Dokumentation von Anlage und Projekt sichergestellt werden.

Die nachfolgende Abbildung Abbildung 3-3 beschreibt den generellen Ablauf zur Abgabe der PDo und DaW. Zum Abschluss eines Projektes werden alle relevanten Pläne und Dokumente auf einem Server abgelegt. Die Abbildung Abbildung 3-4 zeigt schematisch den Prozess zur digitalen Ablage von Bauwerks- und Projektdokumentationen. Die Dokumentenablage und Bewirtschaftung in der Phase Projektierung und Realisierung erfolgt hierbei über Boxalino. Die Datenhaltung während des Bauprozesses ist dabei meist projektspezifisch. Gängige System sind internetbasierte Dokumentenmanagementsysteme, auf die Pläne und weitere Dokumente (Berichte, Abnahmeprotokolle, Prüfprotokolle, etc.) abgelegt und von dort verteilt werden.

¹⁵ <https://www.big.at/ueber-uns/>, 03.08.2020

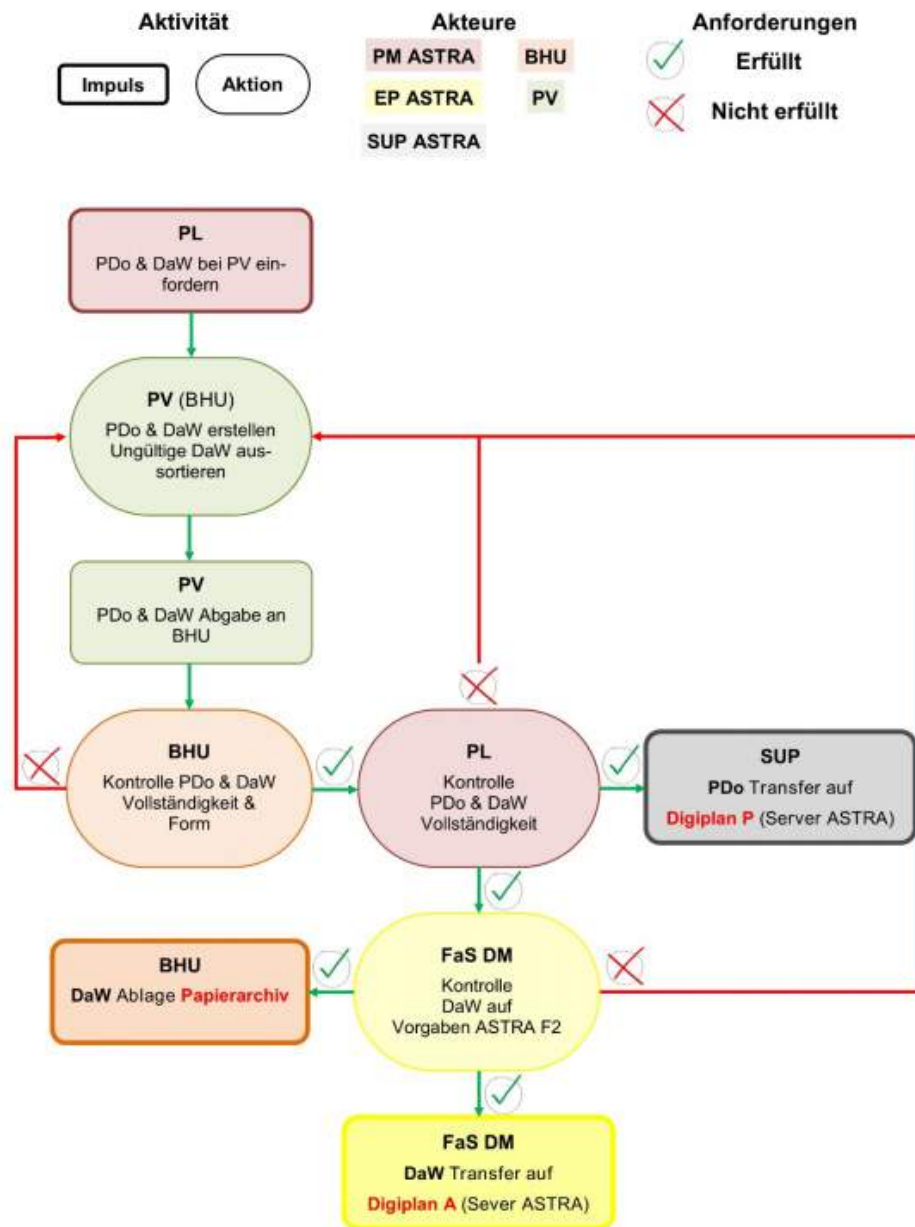


Abbildung 3-3: Prozess PDo und DaW Abgabe (ASTRA 2020).

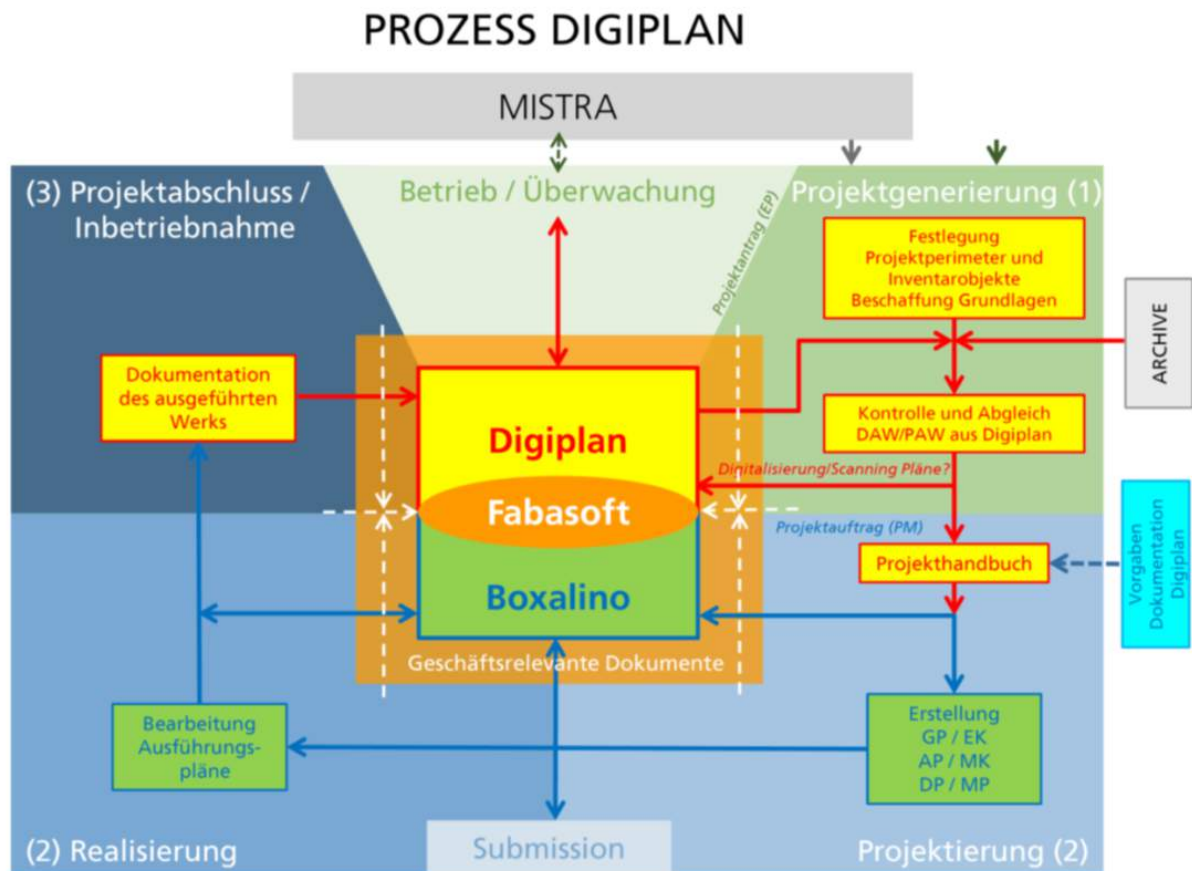


Abbildung 3-4: Schematische Darstellung Prozess zur digitalen Ablage von Bauwerks- und Projektdokumentationen (ASTRA 2019).

3.2.5 Zusammenfassung

Die Analyse der Datenhaltungssysteme zeigt, wie unterschiedlich die Funktionen und Anwendungen der einzelnen Datenhaltungssysteme bei den Projekten und Bestellern sind. Speziell in Hinblick auf eine lückenfreie Übertragung der Informationen und Unterlagen vom Bau in den Betrieb zeigt, dass es klarer Richtlinien und Regeln bedarf. Daten werden bisher größtenteils noch als „Dokumente“ in Form von Plänen, Berichten, Prüfprotokollen, etc. im Zuge des Bauprozesses generiert und abgelegt. Eine strukturierte Ablage und somit Weiterverarbeitung der in diesen Dokumenten enthaltenen Information ist bisher nicht Standard und erschwert wesentlich eine Übergabe von Informationen aus dem Bauprozess in den Betrieb und die Erhaltung.

3.2.6 Katalog der relevanten Baustoffdaten

Im Rahmen des Projektes wurde zur Vorbereitung der Erstellung von Merkmalen und Merkmalsgruppen (vgl. Kapitel 4) eine Zusammenstellung der relevanten Baustoffdaten



erstellt. Dieser Katalog zeigt den aktuellen Stand an relevanten baustofftechnischen und geologischen Daten aus der Bauausführung auf, welche für die Prozesse das Asset Management von Bedeutung sind. Dabei werden die spezifischen Gegebenheiten der drei D-A-CH-Länder berücksichtigt. Der Katalog ist dem Bericht als Excel-datei beigelegt (vgl. Anhang A.2).

3.3 Datenhaltung im Bereich des Asset Managements

3.3.1 Einleitung

In der Regel verfügen die Straßenbetreiber über eine geeignete IT-Infrastruktur, welche die Datenerfassung, das Datenmanagement und die Datenanalyse ermöglichen soll. Obwohl in den Phasen Projektierung und Bauausführung, welche gemäß Kapitel 2.4 dem Projektmanagement zugeordnet werden können, Daten digital erstellt und ausgetauscht werden, zeigt sich zu den weiteren, dem Asset Management zugehörigen Phasen, d. h. Betrieb, Überwachung und Erhaltungsplanung eine markante Lücke.

Während die Daten im Bereich des Asset Managements strukturiert vorliegen, werden die Daten aus der Projektierung und Bauausführung bei den Straßenbetreibern aktuell im günstigsten Fall den Objekten als Sonderdaten zugeordnet (vgl. Abbildung 3-5). In vielen Fällen landen diese Daten immer noch in analogen Archiven und liegen somit meist nur in Papierform inkl. Datenträger getrennt von den vorhandenen Datenbanken vor. In beiden Fällen ist eine automatische Abfrage oder Auswertung bzw. Analyse durch die fehlende Ontologie und Semantik nicht möglich.

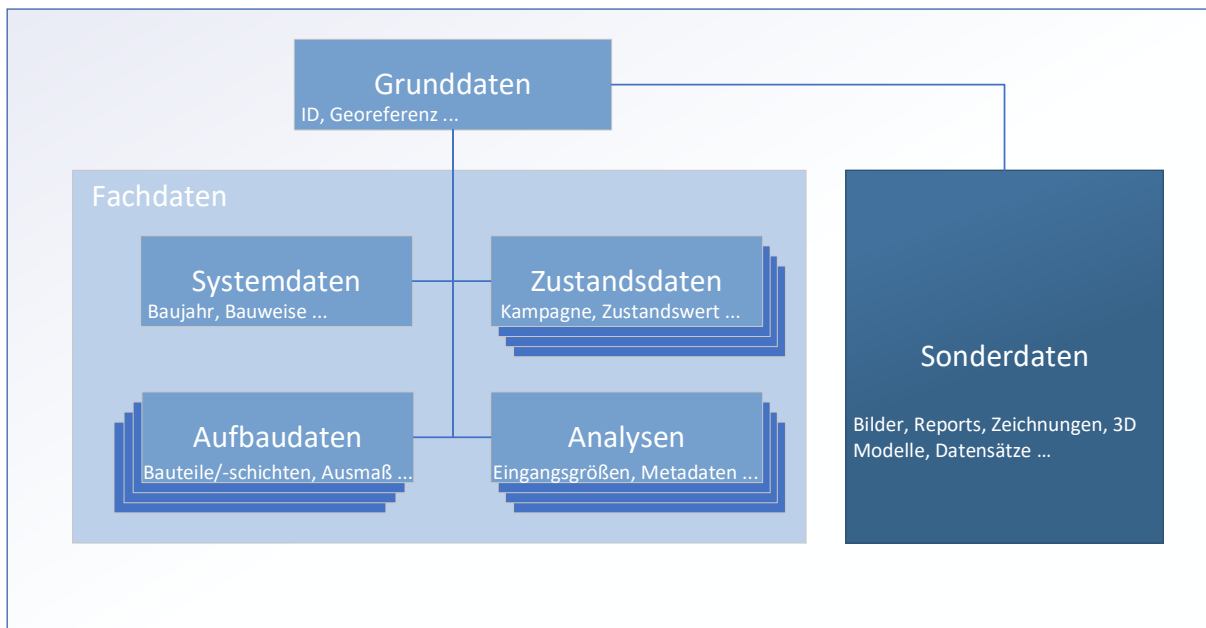


Abbildung 3-5: Struktur von Daten im Infrastrukturmanagement (vgl. Hajdin et al. 2019)

Im Bereich des Asset Managements existieren bereits strukturierte Daten bei den Straßenbetreibern, welche im Rahmen von Analysen und Auswertungen wertvolle Grundlagen für die Entscheidungsfindung liefern (vgl. Hajdin et al. 2019). Die Straßeninfrastruktur gliedert sich je nach Objekttyp in Teilsysteme, welche unterschiedliche Anforderungen an die Struktur der Infrastrukturdaten stellen. Je nach Teilsystem, wie z. B. Fahrbahnen, Ingenieurbauwerke bzw. Kunstbauten oder elektromechanische Anlagen, werden andere Informationen für Betrieb, Überwachung und Erhaltungsplanung benötigt. Grundlegend für alle Teilsysteme ist ein qualitätsorientiertes Datenmanagement bei dem alle Straßeninfrastrukturdaten auf einem definierten Stand gehalten, d. h. vervollständigt, korrigiert und aktualisiert werden. Aus Kapitel 3.2 geht hervor, dass im Bereich des Projektmanagements mit Projektierung und Bauausführung bereits Ansätze im Bereich BIM und zur gemeinsamen Datenhaltung bestehen. Im Bereich Asset Management fehlen nicht nur Konzepte für den Einsatz von BIM, sondern weist es auch mitunter eine Lücke zwischen Projektmanagement und Asset Management beim Austausch der schon vorhandenen Daten auf, welche eine adäquate Nutzung der PM-Daten im AM durch die fehlende Datenaustausch-Standards verhindert. Der Stand in Bezug auf die Datenhaltung ist unter den Straßenbetreibern in den D-A-CH Ländern sehr unterschiedlich. Auf dem vorrangigen Fernstraßennetzen, bei welchen die vorhandenen Datenstrukturen zweckmäßig sind und die Datenqualität hoch ist, zeigen sich neben Unterschieden aber auch Gemeinsamkeiten. Dies wird im Folgenden näher ausgeführt.

3.3.2 Deutschland

Für das übergeordnete Straßennetz von Bund und Ländern wurde für einen problemlosen Datenaustausch ein einheitlicher Standard mit der Anweisung StraßeninformationsBank (ASB, vgl. [Ref]) für die Abbildung der Straßen bzw. mit der Anweisung StraßeninformationsBank-INGenieurbauwerke (ASB-ING., vgl. [BMVI 2018a]) für die Abbildung von Ingenieurbauwerken in einer Datenbank geschaffen. Die ASB beschreibt Objektstrukturen aus fachlicher Sicht. Ein wesentlicher Aspekt der ASB ist die Festlegung eines zentralen Ordnungssystems für das klassifizierte Straßennetz, das Netzknoten-Stationierungs-System. Die in der ASB definierten Objektklassen erhalten ihren Netzbezug gemäß diesem Ordnungssystem. Die Vorgaben für die Felder der Objekte, z. B. in Bezug auf den Detaillierungsgrad, entsprechen dem Informationsbedarf der Anwender. Hierfür dient zusätzlich der Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen OKSTRA (vgl. [FGSV 2003]). Der OKSTRA ist ein Katalog von Objekten des Straßen- und Verkehrswesens sowie deren Sachdaten, einschließlich vorhandener Beziehungen (OKSTRA-Ontologie). Er standardisiert die informationstechnische Modellierung von Objektstrukturen. In jenen Bereichen, die bereits von fachlichen Regelwerken, wie der ASB, beschrieben sind, basiert die OKSTRA-Modellierung zwingend auf deren inhaltlichen Vorgaben. In Bereichen, die von der ASB oder anderen Regelwerken noch nicht oder nicht detailliert genug beschrieben sind, kann der OKSTRA darüber hinausgehen. Aktuelle Entwicklungen sehen z. B. Verbesserungen unter anderem im Bereich der Liegenschaftsverwaltung und Verwaltung und Zuordnung von Prüfdaten im Straßenbau sowie eine Überarbeitung der Modellierung von Ingenieurbauwerken vor. Diese Bauwerkmodellierung ermöglicht den erstmals den Austausch von dreidimensionalen Bauwerksmodellen. Das heißt auch, dass die Entwicklungen bei OKSTRA in die Richtung des Building-Information-Modeling (BIM) gehen. Der OKSTRA gewährleistet durch die Definition einheitlicher Objektstrukturen die Austauschbarkeit von Straßendaten zwischen verschiedenen Applikationssystemen. Dies gilt sowohl verwaltungsintern für den Datenaustausch zwischen den Bearbeitern der verschiedenen Phasen von straßenrelevanten Objekten (z. B. Entwurf – Bauabrechnung – Bestandsverwaltung) als auch extern für den Austausch mit anderen nationalen und europäischen Verwaltungen.

Obwohl der in Deutschland vorhandene Standard bereits die wichtigen Grundlagen zur Datenhaltung definiert, existiert in der Praxis durch das föderale System mit deren verteilten Zuständigkeiten von Bund und Ländern in Bezug auf den vorhandenen Straßenbestand und Bauwerksdaten noch keine einheitliche bzw. kompatible Datenhaltung.



3.3.2.1 Datenhaltung Fahrbahnen (D)

Die Bestandsdaten von Straßen werden in den jeweiligen Straßeninformationsbanken (SIB) der Länder gehalten. Zum Teil basieren diese auf unterschiedlichen Versionen der ASB, welche sich im Laufe der Zeit auch weiterentwickelt hat. Es ist zudem bekannt, dass die Bestandsdaten nicht immer vollständig und im Rahmen einer regelmäßigen Pflege aktualisiert werden.

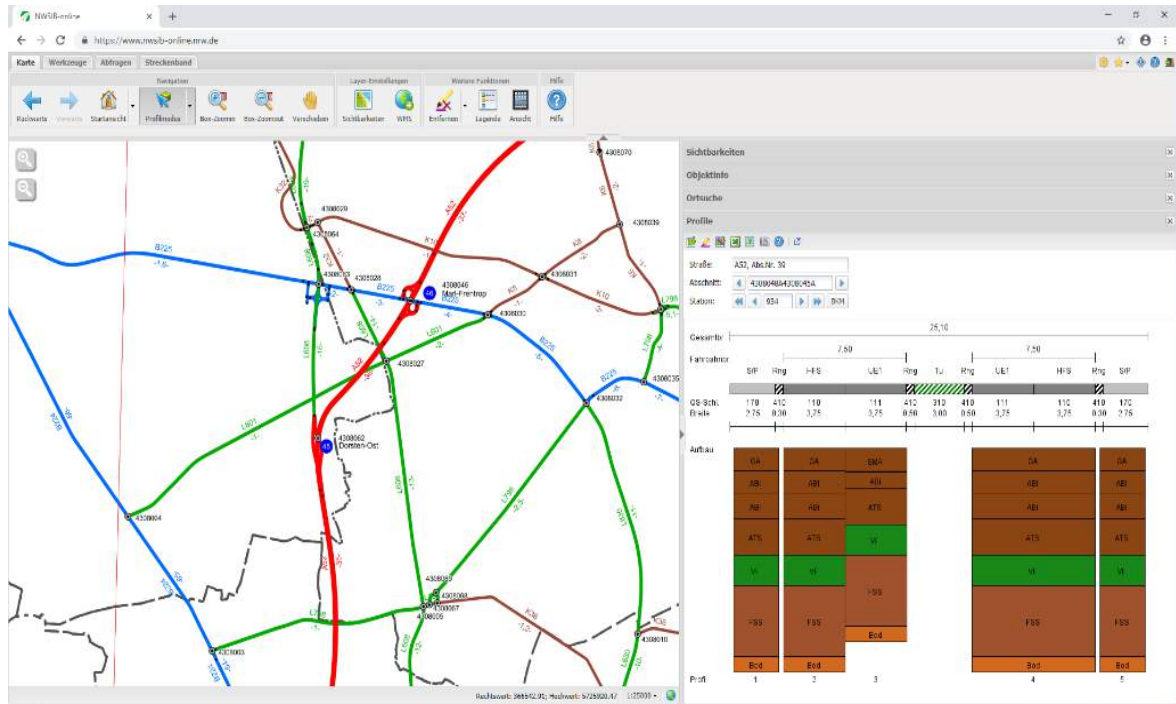


Abbildung 3-6: Straßeninformationsbank NWSIB (online) mit Darstellung des Aufbaus einer BAB (Straßen.NRW)

Im Gegensatz zu den Bestandsdaten liegen die im Rahmen der netzweiten Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) der Bundesfernstraßen erhobenen Zustandsdaten in weitgehend einheitlicher Qualität vor. Dies wurde durch den vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) betriebenen IT-ZEB Server erreicht. Auf diesem werden alle seit 1997 erfassten Zustandsdaten und daraus berechneten Ergebnisse gehostet. Das bedeutet die Zustandsdaten liegen einerseits als sogenannte Geo-Rohdaten vor, welche im Rahmen eines automatisierten Prozesses zu Raster-Rohdaten auf das Knoten-Kanten-Modell des Straßennetzes projiziert und in einem weiteren Schritt auf definierte Straßenabschnitte aggregiert werden können. Andererseits existieren Ergebnisdateien von bereits aggregierten Zustandsdaten mit jeweiligen

Zustandsgrößen und -werten der standardisierten Intervalllängen, mit 100 m für die freie Strecke und 20 m für Ortsdurchfahrten.

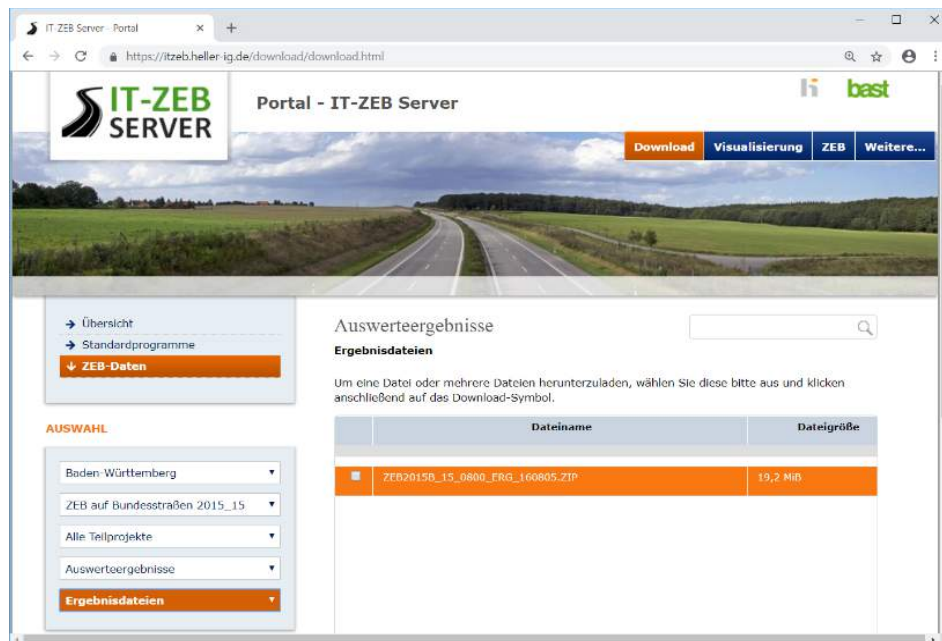


Abbildung 3-7: IT-ZEB Server von BMVI und BAST

3.3.2.2 Datenhaltung Kunstbauten (D)

Die Datenhaltung der Kunstbauten wird zentral in der Datenbank-Applikation SIB-Bauwerke (SIB-BW) realisiert und ist eine Entwicklung des Bundes und der Länder. Damit soll eine einheitliche Erfassung, Verwaltung und Auswertung des ständig wachsenden Bauwerksbestandes (Brücken, Verkehrszeichenbrücken, Stützbauwerke, Lärmschutzbauwerke u.v.m.), welcher der Baulast des Bundes und des Landes unterliegt, erfolgen. Die ASB-ING (Anweisung Straßeninformationsbank, Teilsystem Bauwerksdaten) dient für die SIB-BW als Grundlage für die Erfassung und Verwaltung der Bauwerksdaten. Mit der Richtlinie RI-EBW-PRÜF (BMVI 2017) sind die Erfassung, Bewertung und Auswertung der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (DIN 1999) gegeben. Unterlagen der Bauausführungen am Bauwerk können im Rahmen von zusätzlichen Dokumenten (z. B. Scans und Fotos) zugeordnet werden.

3.3.3 Österreich

Ein Konsortium der Bundesländer Österreichs und weiterer Organisationen hat mit der Graphenintegrations-Plattform Österreich (GIP) ein österreichweit einheitliches, intermodales Verkehrsbezugssystem geschaffen. Dieses Verkehrsbezugssystem bildet in mathematischer



Hinsicht ein Grafenmodell des gesamten öffentlich nutzbaren Verkehrsnetzes. Ziel ist die Bereitstellung und der Austausch von vollständigen, aktuellen und verlässlichen Verkehrsdaten zwischen unterschiedlichen Organisationen in Österreich in standardisierter Form. Die GIP kann für mehrere Zwecke zur Anwendung gebracht werden, z. B. für die Verwaltung von Straßendaten, als Referenzbasis für unterschiedliche Dateninhalte, als Datenbasis für die Verkehrsmodelle oder als Grundlage zur Kartenerstellung. Grundlage der GIP ist ein vereinfachtes Knoten-Kanten-Modell als Ordnungssystem. Die GIP als Graph stellt die standardisierte Netzreferenzierung dar und besteht aus mehreren Datenbanken, die dezentral vom jeweiligen GIP-Partner (u.a. ASFiNAG, der Bund, die Bundesländer, ÖBB) gepflegt bzw. aktualisiert werden. Die ASFiNAG als Betreiber des österreichischen Fernstraßennetzes hält dessen Daten in ihrer modularen Infrastruktur Management Applikation IMT vor (vgl. Abbildung 3-8).

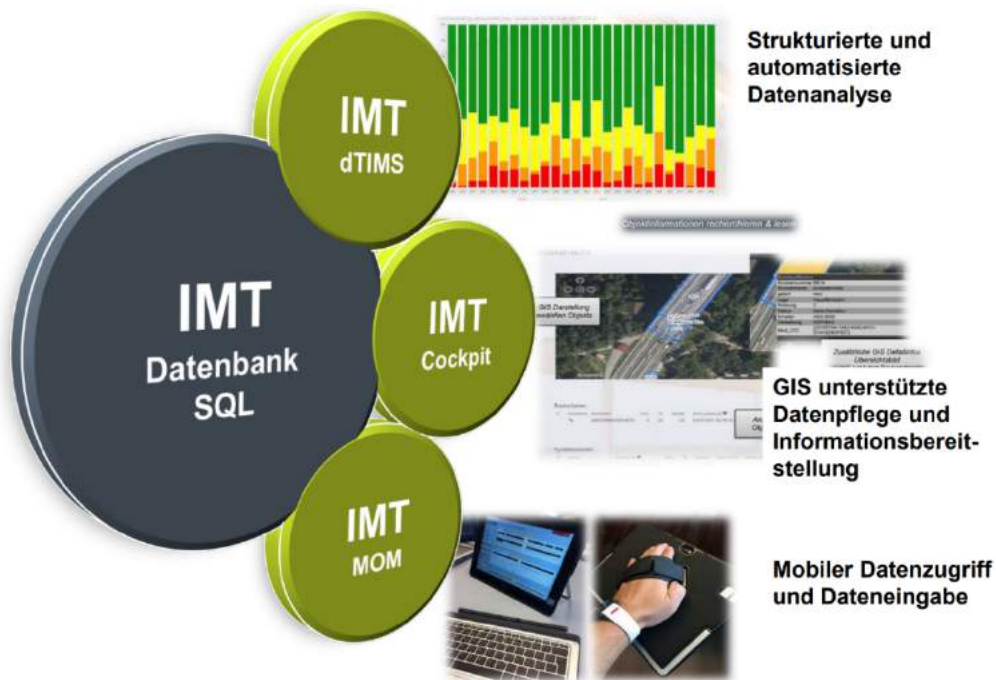


Abbildung 3-8: IMT der ASFiNAG (vgl. ASFiNAG 2016b, Kienreich et al. 2018)

Hierbei werden die Daten jeweils einem Objekt zugeordnet, welches, im Gegensatz zu Deutschland mit einem reinen Knoten-Kanten-Modell nach ASB, mit Hilfe einer linearen Referenzierung im Straßennetz durch Straßen- bzw. Richtungsfahrbahn-ID und Betriebskilometrierung verortet wird. Kann oder wird ein Objekt nicht eindeutig einer Straße zugeordnet, erfolgt zumindest eine Referenzierung über GPS-Koordinaten. Zusätzlich zur Netzreferenzierung existiert eine Zuordnung eines Objekts zu einem Geschäftsprozess durch

die sogenannte Geschäftsprozessreferenzierung (vgl. [Kienreich et al. 2018]). Abbildung 3-9 zeigt zudem die generelle hierarchische Datenbankstruktur für einen Objekttyp im IMT der ASFiNAG. Weiterhin werden den Objekten auch Dokumente durch Scans und Fotos zugeordnet. Dafür existiert ein zusätzliches Dokumentenmanagementsystem. Der Inhalt kann aktuell jedoch nicht über semantische Informationen zugeordnet werden.

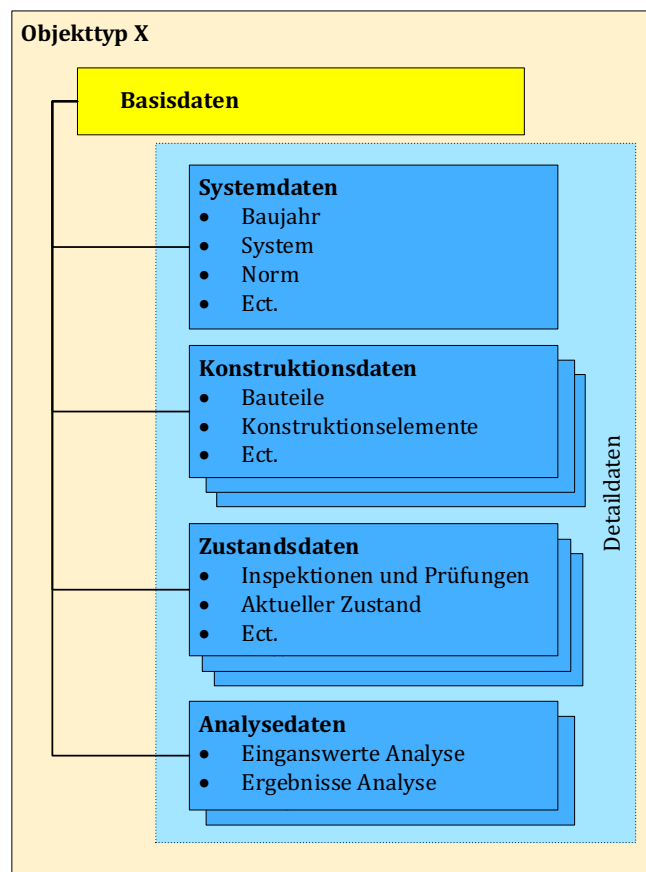


Abbildung 3-9: Hierarchische Datenstruktur Objektverwaltung Objekttyp X im IMT der ASFiNAG (vgl. ASFiNAG (2016a))

3.3.3.1 Datenhaltung Fahrbahnen (AT)

Die Datenhaltung von Fahrbahn-Objekten in Österreich erfolgt innerhalb der IMT mit der Objektklasse „Pavement“. Hierbei werden die für die Fahrbahnen relevanten Informationen durch die in Abbildung 3-10 auszugsweise dargestellten Objektattribute abgelegt.

P_Oberbau_aktuell

| Field Name | Data Type |
|--------------------------|------------|
| f_IKey | Short Text |
| RoadName | Short Text |
| Name | Short Text |
| From | Number |
| From_Description | Short Text |
| To | Number |
| To_Description | Short Text |
| FromElement | Number |
| ToElement | Number |
| Bautyp | Long Text |
| Bauweise | Long Text |
| Daten_Kontrolle | Yes/No |
| Gesamtdicke_geb_Sch | Number |
| Gesamtdicke_Oberbau | Number |
| HJ_theoretisch | Number |
| ID | Number |
| Jahr_Plattenauswechslung | Number |
| JDTLV_akt_Jahr | Number |
| laermmindernd | Yes/No |
| Lane | Short Text |
| NetworkID | Number |
| NLWkum_n | Number |
| NLWzul_0 | Number |
| P_JDTLV | Number |
| P_Plattenauswechslung | Number |
| QElement | Short Text |
| S1A | Long Text |
| S1D | Number |
| S1J | Number |
| S1K | Number |

Abbildung 3-10: Auszug von für die Fahrbahnen relevanten Datenfeldern der IMT

Der Datenumfang beinhalten gemäß [ASFiNAG 2016b] einerseits die Inventardaten mit den Oberbaudaten zur Beschreibung der Baukonstruktion Oberbau und Querschnittsdaten zur Definition der Breiten und Flächen. Andererseits werden die Zustandsdaten zur Beschreibung des Zustands der Fahrbahnoberfläche sowie die Beanspruchungs- und Belastungsdaten zur Beschreibung des Oberbaus aus Verkehr und Klima vorgehalten.

Die Zustandsdaten werden im Rahmen der ZEB durch einen externen Dienstleister erbracht. Im Gegensatz zu Deutschland, wo durch den IT-ZEB Server sowohl der Geo-Rohdaten als auch die aggregierten Ergebnisdaten vorgehalten werden, erfolgt in Österreich die Datenhaltung der Geo-Rohdaten durch den zustandserfassenden Dienstleister (AIT Austrian Institute Of Technology) mit einer vertraglichen Zusicherung, diese Daten bei Bedarf zur Verfügung zu stellen. Die ASFiNAG hält im IMT die durch das AIT gelieferten aggregierten Zustandsdaten vor. Aktuell erfolgt die Aggregation der Rohdaten auf 50 m Straßenabschnitte. Bei frühere Messkampagnen wurden die Messdaten zum Teil auf längere Abschnittslängen und nicht einheitlich aggregiert und sind im IMT abgelegt.

3.3.3.2 Datenhaltung Kunstbauten (AT)

Wie in Kapitel 3.3.3 bereits dargestellt, stellen die Kunstbauten neben den Fahrbahnen weitere Objekttypen gemäß [FSV 2009a] dar. Die Struktur der Daten wird dementsprechend nach den Anforderungen der Kunstbauten abgebildet. Diese bildet einerseits die Gliederung der Objekte in Anlage (BB), Bauwerk (BK) und Bauwerksteiltyp (BK) und andererseits die unterschiedliche Erfassung bzw. Verwendung der Daten in Inspektionen (BZ), Monitoring von Ausrüstung und Verkehr (BS), Lebenszyklusanalysen sowie Auswertungen und Abfragen (BA) ab (vgl. Abbildung 3-11).

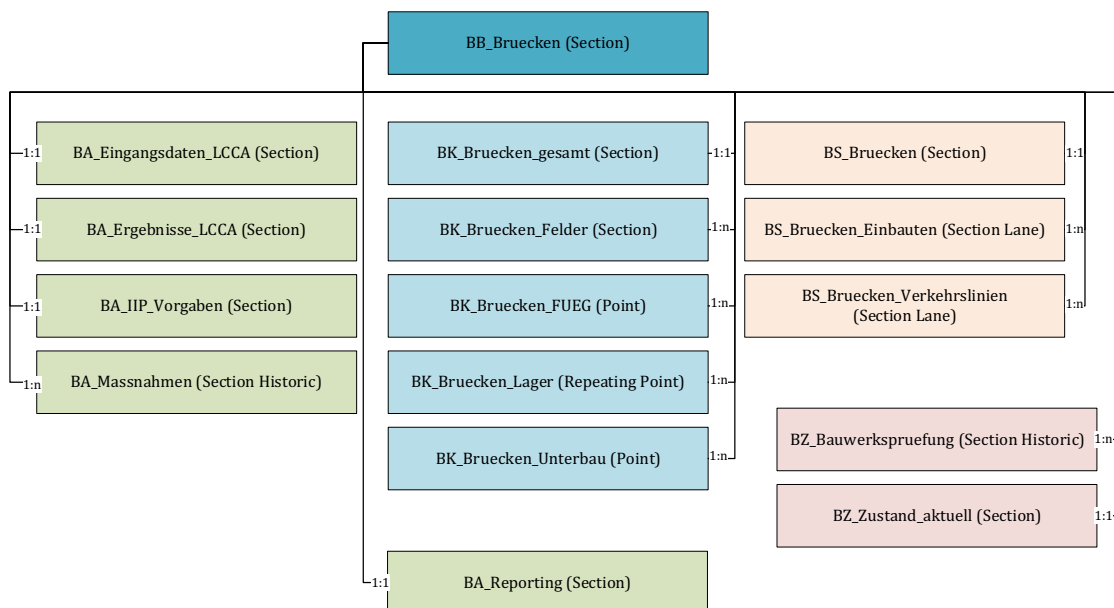


Abbildung 3-11: Schematische Übersicht der Struktur der Kunstbautenobjekttypen im IMT

3.3.4 Schweiz

Das Bundesamt für Straßen (ASTRA) verfügt über eine zentralisierte Datengrundlage durch das Managementinformationssystem Straße und Straßenverkehr (MISTRA). Der Aufbau von MISTRA ist ein strategisches Entwicklungsprojekt des ASTRA. Ziel des Managementinformationssystems ist die Ablösung einer dezentralen Kommunikation zwischen den einzelnen Aufgabengebieten durch eine zentrale Anbindung aller Fachapplikationen an das MISTRA-Basisssystem / Data Warehouse, wie z. B. die Straßeninformationsbank TRASSEE und das Kunstbauten-Managementsystem KUBA (Kunstbauten: schweizerisch für Ingenieurbauwerke).

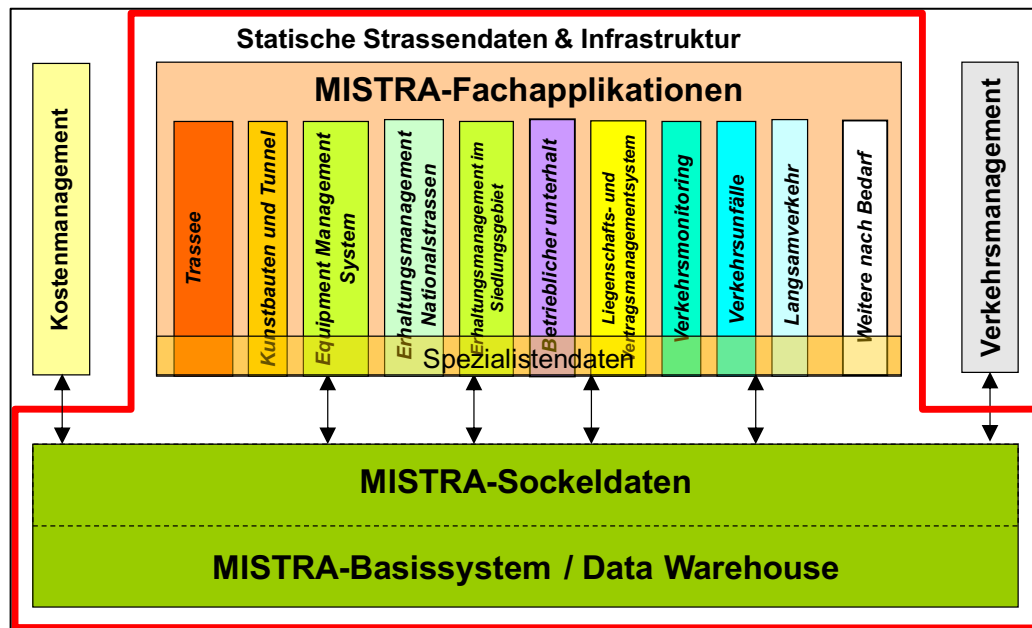


Abbildung 3-12: Gesamtübersicht MISTRA (vgl. ASTRA 2014)

Im Rahmen des Projekts MISTRA wurden verschiedene Fachapplikationen angepasst und zum Teil neu entwickelt, um diese an das MISTRA-Basissystem anbinden zu können. Die Grundlage für alle angebundenen Fachapplikationen bilden die Sockeldaten im MISTRA-Basissystem. Diese umfassen die Gesamtheit der Basis-, Generalisten- und Metadaten. Die Fachapplikationen verfügen in ihrem Fachbereich über Spezialistendaten.

Basisdaten sind Daten, die zur Umsetzung eines Ordnungssystems benötigt werden, d. h. den Raumbezug oder die organisatorische Zuordnung der Informationsobjekte ermöglichen. Eine grosse Anzahl der Fachapplikationen beziehen sich auf diese Daten (Beispiele: Achsen, Bezugspunkte, Netze, Beteiligte, Projekte, Fahrbahngeometrie, -aufbau, -nutzung, Textkataloge, Objektinventar). Die Basisdaten werden im Rahmen des Basissystems gepflegt. Generalistendaten sind Daten der Fachapplikationen, welche über den zuständigen Fachbereich hinaus von Interesse sind (Beispiele: Hauptdaten von Kunstbauten, Fahrbahnzustand aggregiert, DTV, Lastwagenanteil). Diese werden an das Basissystem übergeben, aber im Rahmen der Fachapplikationen gepflegt. Die Fachapplikationen beziehen die Sockeldaten, um aus ihren Spezialistendaten einen relevanten Extrakt als Generalistendaten an das Basissystem für den Austausch zurückzugeben oder um Mehrwert aus den Generalistendaten anderer Fachapplikationen zu ziehen. Das heißt, auch bei MISTRA liegt die Hoheit der Datenhaltung und Pflege der Fachdaten (mit Spezialisten- und Generalistendaten) in den Fachbereichen.

Im Gegensatz zum Knoten-Kanten-System nach ASB, das in Deutschland eingesetzt wird, dient in der Schweiz analog zur ASFiNAG in Österreich ein lineares Raumbezugssystem als Referenzsystem. Dies ist ein lineares Koordinatensystem, welches mit seinem Nullpunkt, seinem Längenmaß und seiner Orientierung an die Achse eines natürlichen linearen Elements gebunden ist, z. B. an eine Straße oder ein Gewässer. Es ermöglicht den Raumbezug von Objekten, die sich auf oder nahe an einer Achse befinden.

3.3.4.1 Datenhaltung Fahrbahnen (CH)

Die Datenhaltung der Fahrbahnen erfolgt in der Schweiz durch die MISTRA Fachapplikation Trasse (TRA). TRA unterscheidet die Detaildaten von Fahrbahnen in folgende Objekttypen und ordnet diese dem Straßenraum zu (vgl. [ASTRA 2019]):

- Erhobene Geometrie und Nutzung
- Fahrbahnaufbau
- Erhobene Fahrbahnmerkmale
 - Erhobener Fahrbahnzustand
 - Hauptindizes
 - Hauptgruppen
 - Lärm und Textur
 - weitere
 - Erhobene Neigungen und Radien
- Nebenstreifen
- Fahrzeug-Rückhaltesysteme (FRS)
 - Längsseitige FRS
 - Anpralldämpfer
- Dokumente / Fotos

Alle Informationsobjekte sind neben der Verortung im Straßennetz den jeweiligen Projekten zugeordnet, welche die entsprechenden Daten geliefert haben (z. B. Kampagne einer Zustandserfassung). Alle Informationsobjekte in TRA haben einen Zeitbezug. Der Zeitbezug eines Informationsobjekts definiert die Gültigkeit der darin abgelegten Informationen und das Datum, ab welchem diese Informationen bekannt waren.

3.3.4.2 Datenhaltung Kunstbauten (CH)

Für die Kunstbauten wird in der Schweiz die MISTRA Fachapplikation KUBA verwendet, welche modular aufgebaut ist. KUBA-DB ist eine Datenbank und umfasst Daten zu Inventar, Bauwerksinspektionen sowie Erhaltung der Straßenbauwerke. Zusätzlich ermöglicht KUBA



durch verschiedene Funktionalitäten verschiedene Analysen und Auswertungen. Die Objekte sind ähnlich den deutschen und österreichischen Datenstrukturen hierarchisch aufgebaut. Dabei wird in Bauanlage, Bauwerk, Baueinheit, Bauwerksteile und Oberflächenschutz strukturiert.










| | | | |
|---|---|---|---|
| Bauanlage (optional) |  | | 1 Objekt auf 1 Ebene möglich |
| Bauwerk (zwingend) |  |  ... | n Objekte auf 1 Ebene möglich |
| Baueinheit (optional) |  |  ... | n Objekte auf 1 Ebene möglich |
| Bauwerksteile (optional, jedoch üblicherweise vorhanden) |  |  ... | n Objekte auf n Ebenen möglich (Normalfall: 1 Ebene) |
| Oberflächenschutz (optional) |  |  ... | 1:1 Zuordnung zu Bauwerksteilen |

Abbildung 3-13: Hierarchie des KUBA-Katalogs

3.3.5 Zusammenfassung

Die Datenhaltung im Bereich Asset Management der D-A-CH Länder entspricht grundsätzlich in ihrer Strukturierung aktuell den Anforderungen der Datennutzung und notwendiger Analysen. In der Praxis zeigen sich jedoch Defizite bei der Pflege der Daten. Dies wird vor allem bei den Aufbaudaten auffällig. Die Daten, welche im Rahmen der ZEB regelmäßig erhoben werden, stehen flächendeckend zur Verfügung. Hier zeigen sich jedoch Unterschiede im Umfang der Datenhaltung bezüglich der Georohdaten. Zudem wird die Lücke beim Informationsaustausch zwischen Projektmanagement (Projektierung und Bauprozess) und Asset Management (Betrieb, Inspektion und Erhaltungsplanung) deutlich. Dies zeigt sich durch die bei der aktuellen Zuordnung von Informationen im Rahmen von Dokumenten. Selbst wenn eine aktive Schnittstelle besteht, geht die Semantik beim Austausch von Daten verloren und damit sind automatische Abfragen und Auswertungen, wie diese im Asset Management eine wesentliche Grundlage darstellen, nicht im gewünschten Maß möglich.

3.4 Erweiterbares Modell des Datenaustausches

3.4.1 Allgemeines

In den bisherigen Kapiteln wurden die Prozesse sowie zugehörige Datenflüsse über die Lebensdauer im Rahmen eines Asset Management Systems beschrieben. Darauf aufbauend wurde die Datenhaltung im Bauprozess sowie im Bereich des Asset Management auf einer übergeordneten Ebene beschrieben. Einen hohen Detaillierungsgrad haben die in Kapitel 4.2 enthaltenen, relevanten Baustoffdaten, die eine wesentliche Grundlage für die Inhalte späteren Datenmodells liefert. Im Folgenden wird versucht, ein allgemeines Modell für den Datenaustausch zu erstellen, das für die beschriebenen Prozesse den Datenbedarf und den Datenfluss abbilden soll. Die Aufgabenstellung besteht darin, im Wesentlichen die Daten aus der Bauausführung sowie deren sinnvolle Verknüpfung mit existierenden Informationssystemen darzustellen. Um aber später den Datenbedarf für ein funktionierendes Asset Management System abzudecken, sind zum einen aussagekräftige Daten aus der Bauausführung notwendig, also baustofftechnische Daten. Zum anderen werden aber eine Reihe weiterer Daten benötigt, die nachfolgend mit umrissen werden, da diese ebenfalls notwendige Grundlage ein Asset Management System darstellen. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse nehmen das Strukturdatenmodell aus Abbildung 3-5 als Grundlage. In dem vorherigen Kapitel wurde auch festgestellt, dass strukturelle Unterschiede bezüglich des Datenbedarfs und der Datenqualität naturgemäß zwischen den beteiligten Ländern bestehen. Dies ist für das Modell des Datenaustausches erst dann entscheidend, wenn dies zur Anwendung operationalisiert werden muss. Das Modell ist so aufgebaut, dass es bezüglich der teilweise unterschiedlichen Objekteigenschaften erweiterbar ist. Soweit ist nachfolgend zunächst ein Beispiel für den aktuellen Datenfluss innerhalb des deutschen PMS dargestellt, um die Komplexität des Datenbedarfs zu verdeutlichen. Anschließend wird der Gesamtdatenbedarf für die relevanten Teilprozesse des Asset Management dargestellt und dann der Datenbedarf innerhalb der Teilprozesse ausgearbeitet. Die Auswahl der relevanten Teilprozesse richtet sich dabei nach den Prozessdarstellungen unter Kapitel 3.4.2, als relevant werden dabei die Teilprozesse angesehen, die zu einem Update in der IFC/BIM Datenbank führen.

Vorab sollte zunächst nochmals die Unterscheidung zwischen Rohdaten und Ergebnisdaten angesprochen werden. Rohdaten stellen im Sinne dieses Berichtes reine Messdaten oder Erhebungsdaten dar, sie sind noch keiner Bewertung unterzogen. Demgegenüber werden in der Datengrundlage auch Ergebnisdaten benötigt, die eine Auswertung der Rohdaten

gegebenenfalls in Kombination mit weiteren Kenngrößen darstellen. Ein Beispiel hierzu ist das gemessene Querprofil, das den Rohdaten zugerechnet wird und die daraus abgeleiteten Zustandsgrößen und Zustandswerte, die den Ergebnisdaten zuzurechnen sind.

Um nun den Einstieg in die benötigten Datenarten darzustellen, wird kurz auf das deutsche PMS eingegangen, dass in abweichender Form wie bereits oben beschrieben auch in der Schweiz und in Österreich den nationalen Erfordernissen folgend eingesetzt wird. In der Anwendung wird grundsätzlich zwischen der Datenverwaltung, der Datenaufbereitung und der Datenanalyse unterschieden. Die Datenverwaltung wird derzeit durch die oben beschriebenen Systeme der Straßeninformation (SIB) und des sogenannten IT_ZEB-Servers erledigt. Im Rahmen der Datenaufbereitung werden den sogenannten homogenen Abständen alle charakteristischen Kenngrößen zugeordnet, die daraus resultierende Datei stellt dem Input für die Datenanalyse im Rahmen des Erhaltungsmanagements dar.

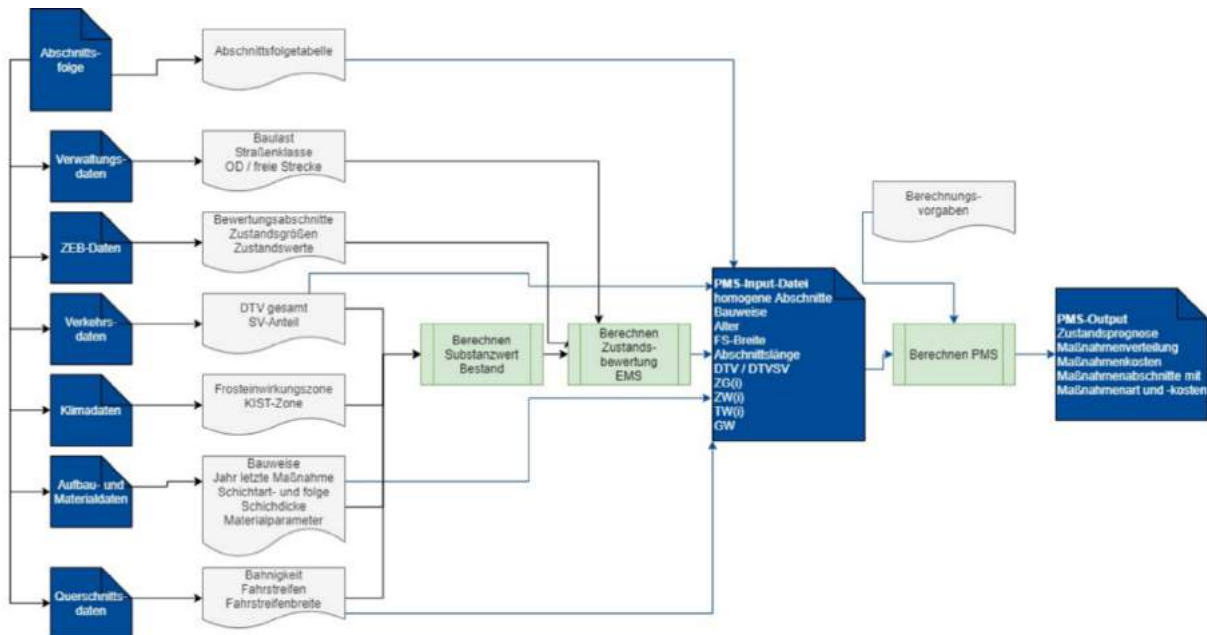


Abbildung 3-14: Datenbedarf des in Deutschland angewandten PMS

Der dazu erforderliche Datenbedarf ist in Abbildung 3-14 auf der linken Seite erkennbar, demnach werden neben den reinen Bestandsdaten eine Reihe weiterer Datenarten benötigt, neben den Daten aus der Zustandserfassung und -bewertung eben auch Daten zum Verkehr oder auch zum Klima. Zudem lässt sich aus der Abbildung auch die Zuordnung des Datenbedarfs zum jeweiligen Auswertungsschritt erkennen. Die nachfolgende Aufgabe besteht nun darin, diese Komplexität so abzubilden, dass ein Datenaustauschmodell skalierbar und ohne nationale Beschränkung anwendbar ist.

3.4.2 Übersichtsmodell zum Datenfluss

Das Übersichtsmodell zum Datenfluss basiert auf einer fiktiven IFC/BIM-Datenbank als Kernelement. Darum sind die drei relevanten Kernprozesse, die zu einer Änderung in der IFC/BIM-Datenbank führen, in Abbildung 3-15 aufgelistet. Zur besseren Erkennbarkeit sind jeweiligen Stellen mit Update I, Update II und Update III markiert.

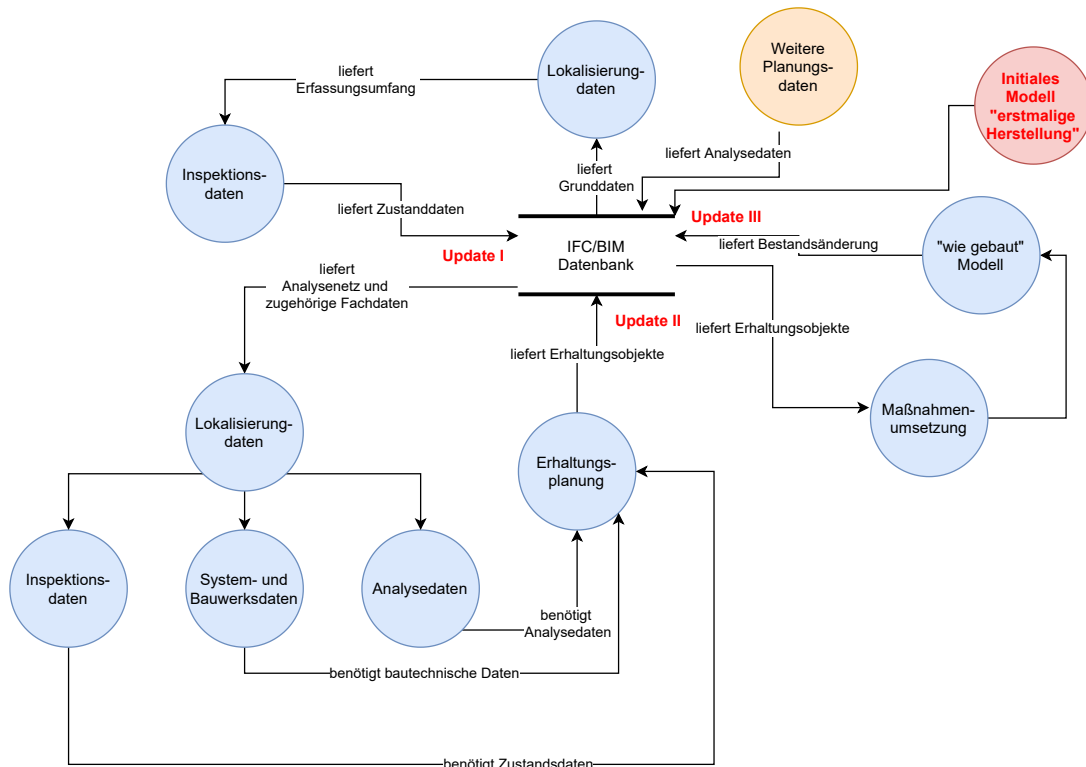


Abbildung 3-15: Datenfluss im AM über den Lebenszyklus

Dabei zeigt sich, dass der Prozess der Inspektion/Zustandserfassung und -bewertung lediglich Lokalisierungsdaten als genannte Grunddaten aus der IFC/BIM Datenbank benötigt. Im Ergebnis dieses Prozesses werden relativ umfangreiche Daten aus der Inspektion/Zustandserfassung und -bewertung in die Datenbank zurückgegeben. Ein weitaus komplexerer Datenbedarf wird im Prozessschritt Erhaltungsplanung erforderlich, so müssen wie oben am Beispiel des deutschen PMS dargestellt, eine Reihe unterschiedlicher Datenarten zur Verfügung gestellt werden. Zurück gespielt werden lediglich die späteren Erhaltungsobjekte, unterschieden in der Regel nach Objektlokalisierung, Maßnahmenart, Zeitpunkt und Kosten. Im dritten Schritt erfolgt der Bauprozess an den einzelnen Erhaltungsobjekten, hier wird zusätzlich eine IFC kompatible Ausführungsplanung benötigt, die nach dem unter Abschnitt 3.4.3 beschriebenen Prozessmodell nicht in der allgemeinen



Datenbank hinterlegt werden soll. Ergebnis dieses Prozessschrittes ist dann die Übergabe der Bestandsänderung als „wie gebaut“- Modell in die IFC/BIM Datenbank. Diese drei Schritte werden nachfolgend näher betrachtet.

3.4.3 Datenfluss bei der Zustandserfassung und -bewertung

In Abbildung 3-16 ist der Datenfluss bei der Zustandserfassung und -bewertung des Oberflächenzustandes von Straßenbefestigungen auf drei notwendige Funktionsbereiche verteilt dargestellt. Die sind der Baulastträger, der Erfasser sowie eine Stelle zur Qualitätssicherung der Erfassungsergebnisse. Der Baulastträger liefert die Grunddaten, die den Erfassungsumfang hinsichtlich des Netzes beschreiben, der Erfasser erbringt die Erfassungsleistung, die von der Qualitätssicherung geprüft werden und nach Abnahme in die IFC/BIM Datenbank zurückgespielt werden. Damit findet ein erstes Update der Datenbank statt.

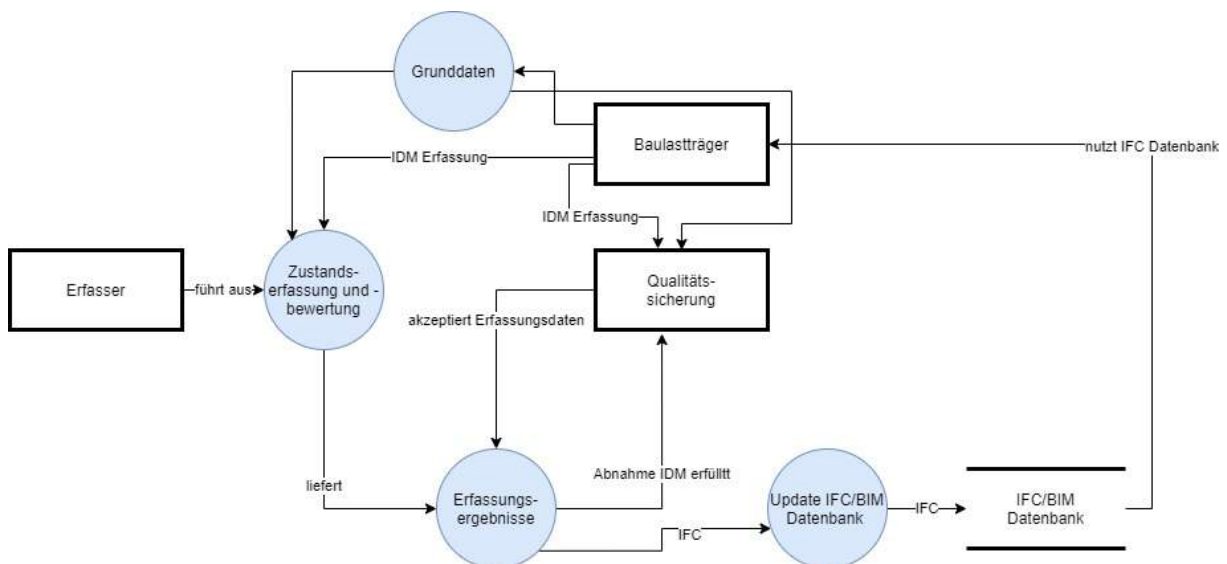


Abbildung 3-16: Datenfluss bei der Zustandserfassung und -bewertung

Offen ist derzeit, welche Daten aus der Erfassung tatsächlich in der Datenbank gespeichert werden sollen. Und die damit verbundene Frage zu verdeutlichen, wurde in Abbildung 3-17 der Ablauf der Datenaufbereitung dargestellt. So entstehen zwei verschiedene Arten von Rohdaten, die sich hinsichtlich ihrer Differenzierungsart unterscheiden. Das eigentliche Ergebnis wird in den Ergebnisdaten dargestellt, die auf regelmäßige Bewertungsabschnitte projiziert sind. Belässt man den Zugriff nur auf den Ergebnisdaten, lässt sich ein neuer Bewertungshintergrund problemlos nachrechnen. Übernimmt man hingegen zumindest Raster-Rohdaten, kann man Nachrechnungen mit veränderten Abschnittslängen durchführen.

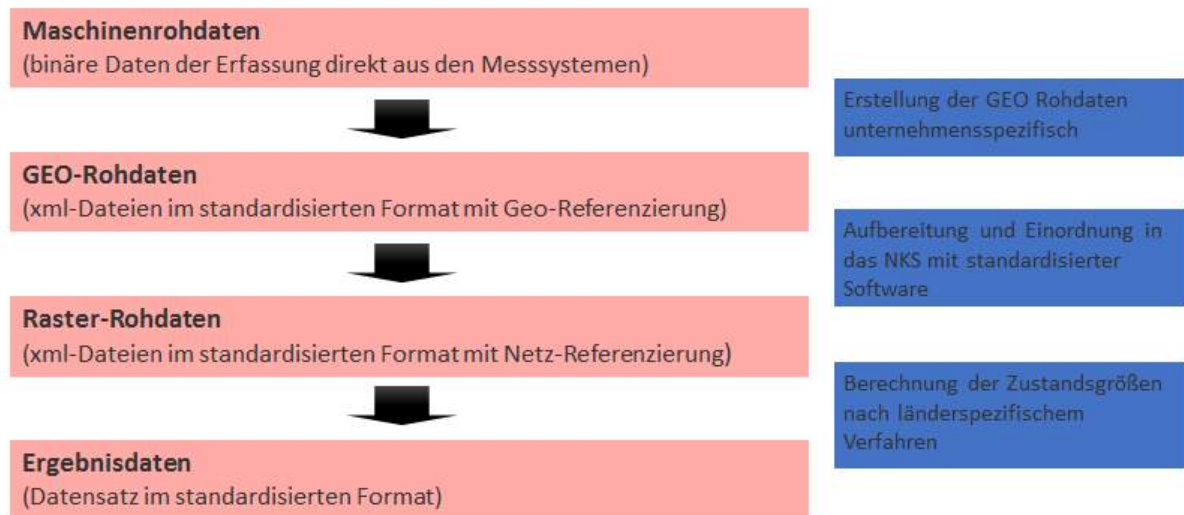


Abbildung 3-17: Datenaufbereitung bei der Zustandserfassung und -bewertung

Allerdings gehören zu den Rohdaten auch die Bilddaten, aus den Orthofotos wird beispielsweise die Kodierung der Oberflächenschäden vorgenommen. Während Raster-Rohdaten für ein Asset Management nicht unbedingt in die IFC/BIM Datenbank übernommen werden müssen, macht dies bei den Orthofotos rein schon aus Gründen der ingenieurtechnischen Kontrolle durchaus Sinn. In Abbildung 3-18 sind die grundlegenden Datenarten sowohl für die Bereitstellung der Grunddaten als auch die Übergabe der Rohdaten, der Bilddaten und der Ergebnisdaten dargestellt. Die Ergebnisdaten stellen im oben genannten Sinne bewertete Daten dar. Im Weiteren sei auch noch in Übereinstimmung mit den oben genannten nationalen Systemen darauf hingewiesen, dass die durch die Zustandserfassung und -bewertung gewonnenen Daten sowohl in den jeweiligen nationalen Auskunftssystem zum Straßenzustand als auch für die weitere Verwendung im Rahmen der Erhaltungsplanung verwendet werden. Eine grobe Übersicht zur möglichen Nutzung der Daten ist in Abbildung 3-18 gegeben.

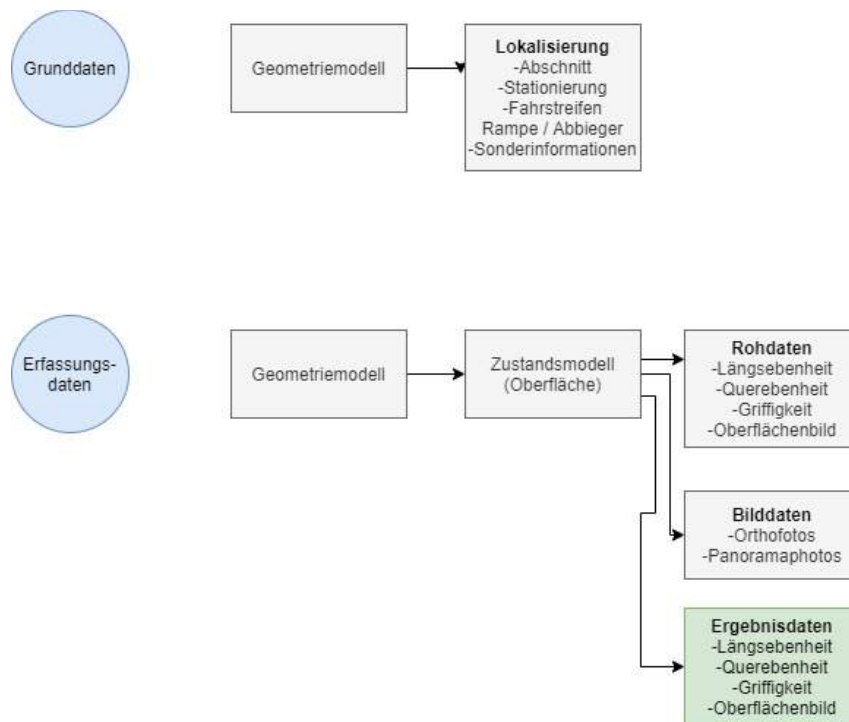


Abbildung 3-18: Übersicht zum Datenbedarf bei der Zustandserfassung und -bewertung

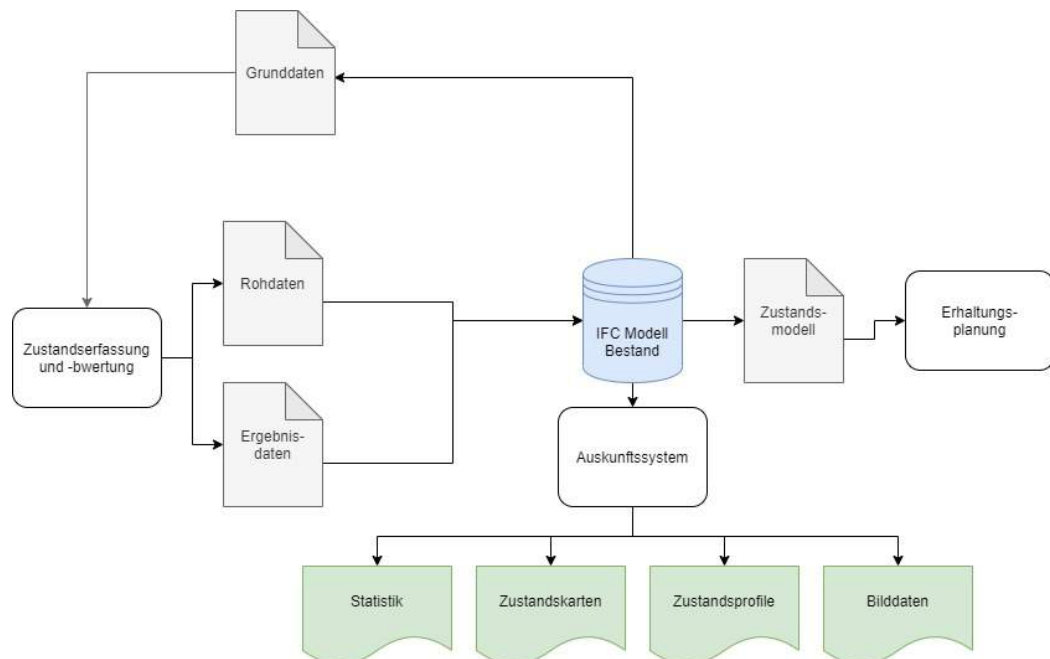


Abbildung 3-19: Übersicht zum Datenfluss bei der Nutzung der Zustandsdaten

3.4.4 Datenfluss bei der Erhaltungsplanung

Der Datenfluss bei der Erhaltungsplanung wird durch einen hohen Aufwand der Zusammenführung verschiedener Datenarten geprägt. Aus diesem Grunde wurde in Abbildung 3-20 ein Modell dargestellt, wie eine Gesamtzustandsbewertung einer Straßenbefestigung erfolgen kann. Die Zustandserfassung und -bewertung liefert lediglich Informationen zum Oberflächenzustand einer Fahrbahn, für die Gesamtbewertung einer Straßenbefestigung sind aber mindestens sogenannte strukturelle Eigenschaften des Fahrbahnaufbaus von entscheidender Bedeutung. Strukturelle Eigenschaften können über verschiedene Verfahren abgeleitet werden, denen im Prinzip eine vergleichbare Datengrundlage gemeinsam ist. Hierzu bestehen Mindestanforderungen bezüglich der Verkehrsbelastung, der Schichtarten und Schichteigenschaften, die dann in länderspezifischen Bewertungsverfahren in eine Substanzbewertung überführt werden. Dazu existieren verschiedene Ansätze, die eine unterschiedliche Beschreibung insbesondere von Materialeigenschaften erfordern. Die Bewertung der Substanz einer Straßenbefestigung kann dann bedarfsweise durch Tragfähigkeitsuntersuchungen oder weitere zerstörungsfreie Untersuchungen wie beispielsweise dem Georadar, oder in Zweifelsfällen auch durch zerstörende Untersuchungen wie Materialentnahmen oder Bohrkernuntersuchungen ergänzt werden. Beispielsweise ist auch eine Entwicklung im Gang, Tragfähigkeitsdaten netzweit zu erfassen und als Eingangsgröße mit in die Erhaltungsplanung aufzunehmen. Insofern ist es notwendig, in einer IFC/BIM Datenbank entsprechende Vorkehrungen zu treffen, dass auch die erweiterten Daten, die sich in der Regel über Zusatzuntersuchungen ergeben, abgebildet werden können. Strukturelle Eigenschaften und Tragfähigkeitseigenschaften werden im Vorfeld eine Erhaltungsplanung wie auch die Ergebnisse der Zustandserfassung und -bewertung einer Bewertung unterzogen, das gesamte Zustandsmodell steht dann als Eingangsgröße für die Verfahren der Erhaltungsplanung zur Verfügung. Es sei darauf hingewiesen, dass auch hier weitere Planungsdaten wie Verkehrsbelastung, Straßenklasse und auch Klimadaten für die entsprechenden Verfahren von Relevanz sind. Ein Überblick über die wesentlichen Daten ist in der Abbildung 3-20 enthalten, wobei die Ergebnisse der zusätzlichen Untersuchungen, wie zum Beispiel die Ergebnisse von Materialuntersuchungen in die IFC/BIM Datenbank übernommen werden sollten.

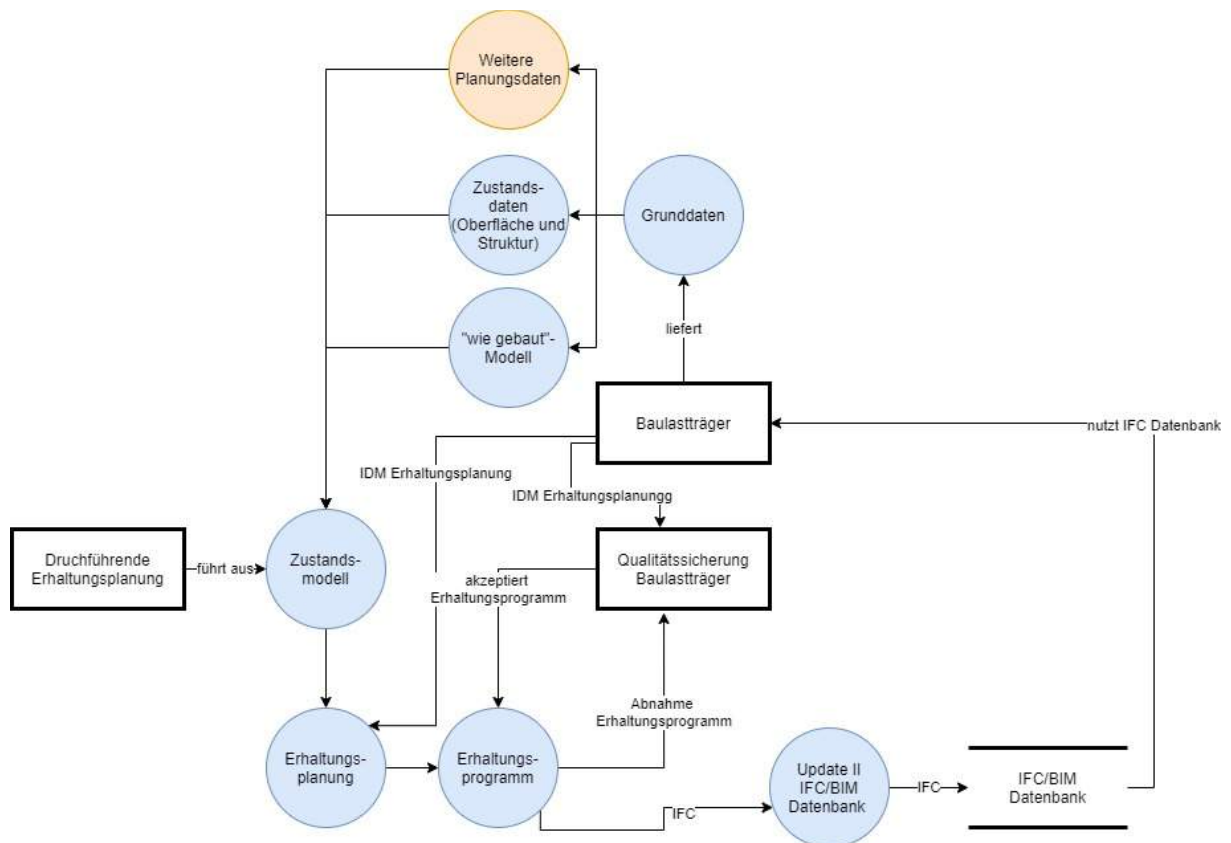


Abbildung 3-21: Übersicht zum Datenfluss bei der Erhaltungsplanung

3.4.5 Datenfluss bei der Bauausführung

Die Bauausführung erfordert wie in der Prozessdarstellung beschrieben fortlaufende Planungsphasen, in der Regel aus Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie der Ausführungsplanung bestehend. Dazu wird zu Beginn der Entwurfsplanung das Bestandsmodell aus der IFC/BIM Datenbank entnommen, die Planung wird fortgeschrieben und detailliert, bis ein sogenanntes Ausführungsmodell aufgestellt ist. Das Ausführungsmodell ist Grundlage der Bauausführung, ist aber nicht in der IFC/BIM Datenbank hinterlegt. Dies entspricht im Idealfall vom Detaillierungsgrad dem „wie gebaut“ Modell. Das „wie gebaut“ Modell repräsentiert die tatsächlich ausgeführte Leistung mit allen notwendigen bautechnischen Informationen, die zur Gewährleistungsüberwachung und das weitere Asset Management von Bedeutung sind. Der grundlegende Datenfluss zwischen den Funktionsbereichen Baulastträger, Bauunternehmen und Bauüberwachung ist in Abbildung 3-22 dargestellt. Die erforderlichen Daten ergeben sich in der Regel projektspezifisch, die für das Asset Management und insbesondere die Erhaltungsplanung benötigten allgemeinen Daten sind in Abbildung 3-23 dargestellt. Die Detaillierung der jeweilig relevanten



Baustoffdaten kann aus dem Unterabschnitt 4.2.6 für die jeweiligen Bauweisen und Schichten entnommen werden.

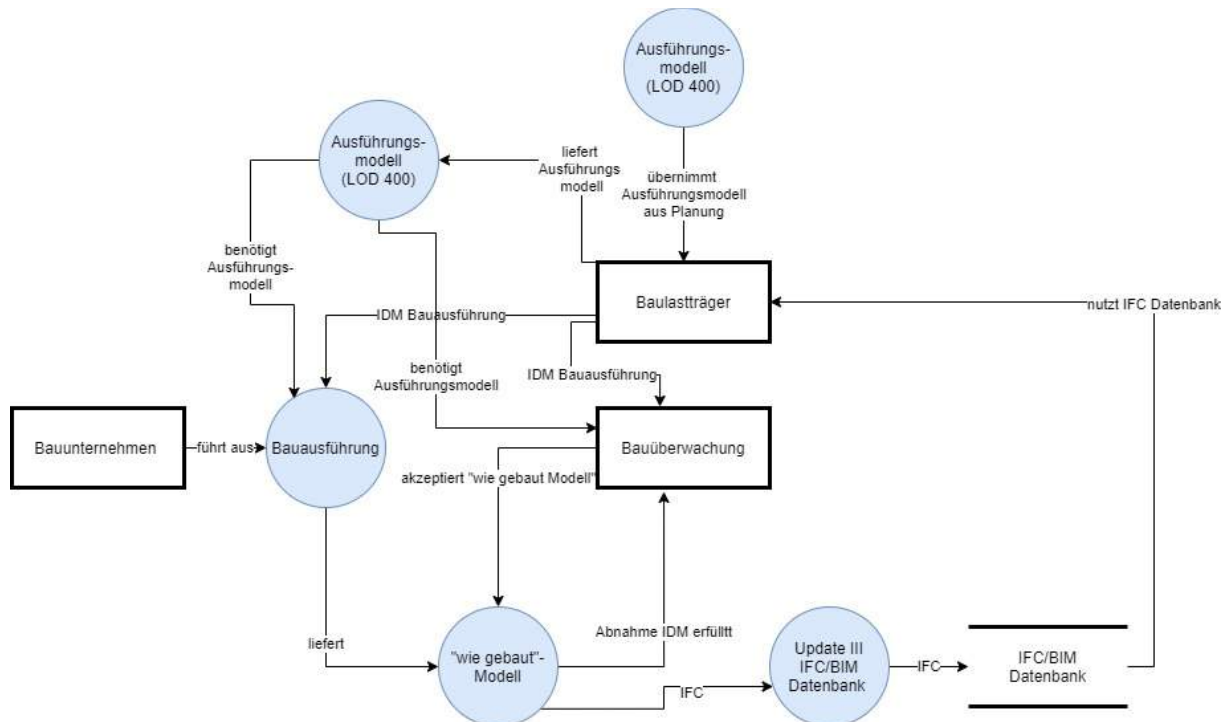


Abbildung 3-22: Übersicht zum Datenfluss bei der Bauausführung

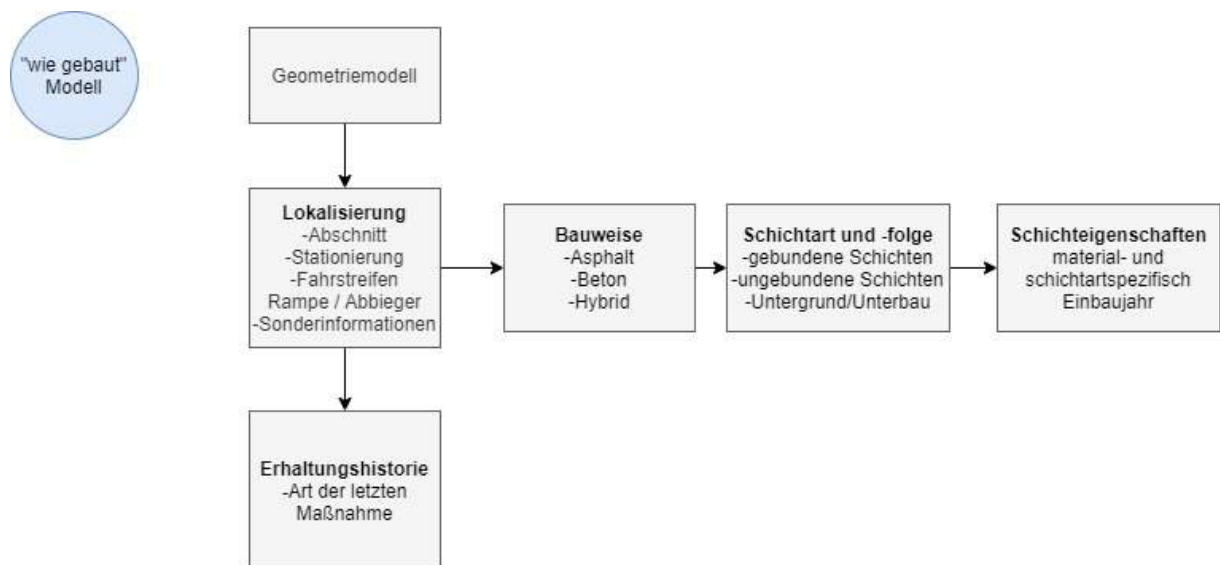


Abbildung 3-23: Übersicht zum Datenbedarf beim „wie gebaut“ Modell

3.5 Kapitelzusammenfassung

In diesem Kapitel wurde eine Übersicht zu der Datenhaltung im Bauprozess sowie im Bereich des Asset Managements auf einer übergeordneten Ebene gegeben. Dazu wurden zunächst die Funktionen und bauvertragliche Anforderungen an eine gemeinsame Datenumgebung für die drei DACH-Länder im Rahmen des Bauprozesses zusammengestellt. Im Ergebnis wurde ein Katalog an baustoffrelevanten Baustoffdaten erstellt, welcher als Vorbereitung für die Erstellung von Merkmalen und Merkmalsgruppen genutzt wurde. Im Bereich des Asset Managements wurden die in den drei DACH-Ländern verwendeten IT-Systeme zur Verwaltung ihrer Datenbestände (Grund-, System-, Zustands-, Aufbau- und Verkehrsdaten etc.) analysiert. Hierbei galt es die nationalen Gemeinsamkeiten als auch die Unterschiede bei der Datenhaltung von Fahrbahnen und Kunstbauten herauszuarbeiten.

Im Anschluss daran wurde ein allgemeines Modell für den Datenaustausch erstellt, das für die beschriebenen Prozesse den Datenbedarf und den Datenfluss abbildet. Hierbei galt es, im Wesentlichen die Daten aus der Bauausführung sowie deren sinnvolle Verknüpfung mit existierenden Informationssystemen darzustellen. Als wesentliche Teilmodelle wurden die Datenflüsse bei der Zustandserfassung und -bewertung, der Bauausführung und bei der Erhaltungsplanung identifiziert. Diese sollen im Folgenden in Kapitel 4 in ein BIM-basiertes Konzept zum Datenaustausch integriert werden.

4 KONZEPT FÜR EINEN BIM-BASIERTEN DATENAUSTAUSCH

4.1 Allgemeines

Auf Basis der identifizierten Anwendungsfälle aus der Bauausführung und dem Straßenbetrieb, die bautechnische Daten sowie Informationen zum aktuellen Zustand einer Straße beinhalten (vgl. Kapitel 2), wird in diesem Kapitel der konkrete Datenaustausch definiert. Hierzu gehört die IT-technische Beschreibung der Informationen (Level of Information Need – LOIN), die Möglichkeiten zur Aggregation von großen Datensätzen und deren Übertragung auf Basis von konkreten Datenformaten in die bestehenden Informationssysteme (vgl. Kapitel 3). Des Weiteren wird erarbeitet, wie die Informationen mit BIM-Modellen verknüpft werden.

In dem vorgesehenen Konzept werden die BIM-Modelle als Dateien mit Industry Foundation Classes (IFC) Schema, welches als international offener Standard (ISO 16739-1) definiert ist, zwecks des Austausches berücksichtigt. Weiterhin hat buildingSMART International zu dem IFC-Schema folgende Datenformate vorgestellt:

- STEP Physical File (SPF) als IFC-Datei,
- Extensible Markup Language als IFCXML-Datei,
- Terse RDF Triple Language (Turtle) als TTL-Datei basiert auf IFCOWL,
- Resource Description Framework (RDF/XML) als RDF-Datei.

Diese unterscheiden sich deutlich in der Datengröße und der Verbreitung in der Praxis. Das am häufigsten in den BIM-Softwarewerkzeugen unterstützte Datenformat SPF (.ifc) wird für die Erstellung und Überarbeitung eines Bauwerksmodells in dem Konzept der Erstellung eingesetzt.

Für die Erfassung und den Austausch der Informationen in Bezug zu BIM-Modellen sind zwar Standards, wie z.B. BIM Collaboration Format (BCF) oder Constructio-Operations Building Information Exchange (COBie) von buildingSMART International veröffentlicht, deren Anwendung ist jedoch eher für einen bestimmten Anwendungsfall oder Bauwerkstyp spezifiziert. Um eine gemeingültige Lösung zur Erstellung und dem Austausch zwischen einem BIM-Modell und den verknüpften Daten zu erarbeiten, wird in diesem Forschungsprojekt ein Informationscontainer gemäß ISO 21957 für die Entwicklung des Konzepts eingesetzt.

4.2 Merkmale und Merkmalsgruppen

Das IFC-Datenmodell bietet mit den sog. PropertySets die Möglichkeit, ohne Änderung des Schemas flexibel einzelnen Objekten Eigenschaften zuzuweisen. Auf diese Weise können nationale Straßenbauverwaltungen oder einzelne Besteller Anforderungen an die zu



übermittelnden Informationen definieren, ohne die Notwendigkeit diese in die internationale Standardisierung einzubringen (König et al. 2020).

Die Merkmale und Merkmalsgruppen werden zunächst unabhängig vom konkreten Datenformat mittels dem Resource Description Framework (RDF) Schema umgesetzt. Hierbei werden bestehende Objekttypen, Strukturen und Eigenschaften bestehender Standards (IFC, OKSTRA, LandXML, etc.) untersucht und abgebildet. Des Weiteren erfolgt eine Zuordnung zu den einzelnen Prozessen und Verantwortungsbereichen. Ergebnis sind konkrete Informationsanforderungen in Form von Datenvorlagen nach EN ISO 23387, die anschließend in verschiedene Datenformate überführt werden können.

Im Folgenden werden die relevanten baustofftechnischen Daten spezifiziert. Für jedes relevante Bauelement (z. B. Aufbauschichten einer Straße) werden semantische Informationen als Merkmale und Merkmalsgruppen nach EN ISO 23386 definiert. Weiterhin erfolgt die Zusammenstellung an Merkmalen und Merkmalsgruppen für die Informationen, die im Rahmen der Zustandserfassung und -bewertung gesammelt werden. Anschließend werden diese erforderlichen und erzeugten Informationen (Level of Information Need) in Form von digitalen Merkmalen und Merkmalsgruppen nach EN ISO 23386 im XML-Format zur Verfügung gestellt.

4.2.1 Baustofftechnische Daten (As-built-Modell)

Die baustofftechnischen Daten beinhalten Informationen zu den einzelnen Schichten des Straßenaufbaus, die im Zuge der Konzeptionierung sowie der Ausführung erhoben und durch das ausführende Bauunternehmen in Form eines As-built-Modells bereitgestellt werden müssen. Die PropertySets werden immer dem *IfcMaterial* zugewiesen, dass mit der jeweiligen Schicht (*IfcCourse*) verknüpft ist.

Bei der Systematik zur Erstellung von Merkmalsgruppen wurde zwischen den folgenden Aspekten differenziert:

- Teil des Aufbaus (Oberbau, Unterbau, Untergrund)
- Schichtmaterial (gebunden, ungebunden)
- Bauweise (Asphalt, Beton)
- Ausgangsmaterialien (Bindemittel, Gestein)
- Baustoff (Mischgut, fertige Schicht)
- Zeitpunkt der Prüfung (Erstprüfung, Kontrollprüfung)
- verhaltensorientierte Prüfverfahren
- Einbaubedingungen

In Abhängigkeit der vorhandenen Eigenschaften können mehrere Merkmalsgruppen der jeweils betrachteten Schicht zugeordnet werden. Die verwendete Struktur zur Erstellung der Merkmalsgruppen ist in der nachfolgenden Abbildung 4-1 am Beispiel einer Asphaltdeckschicht dargestellt.

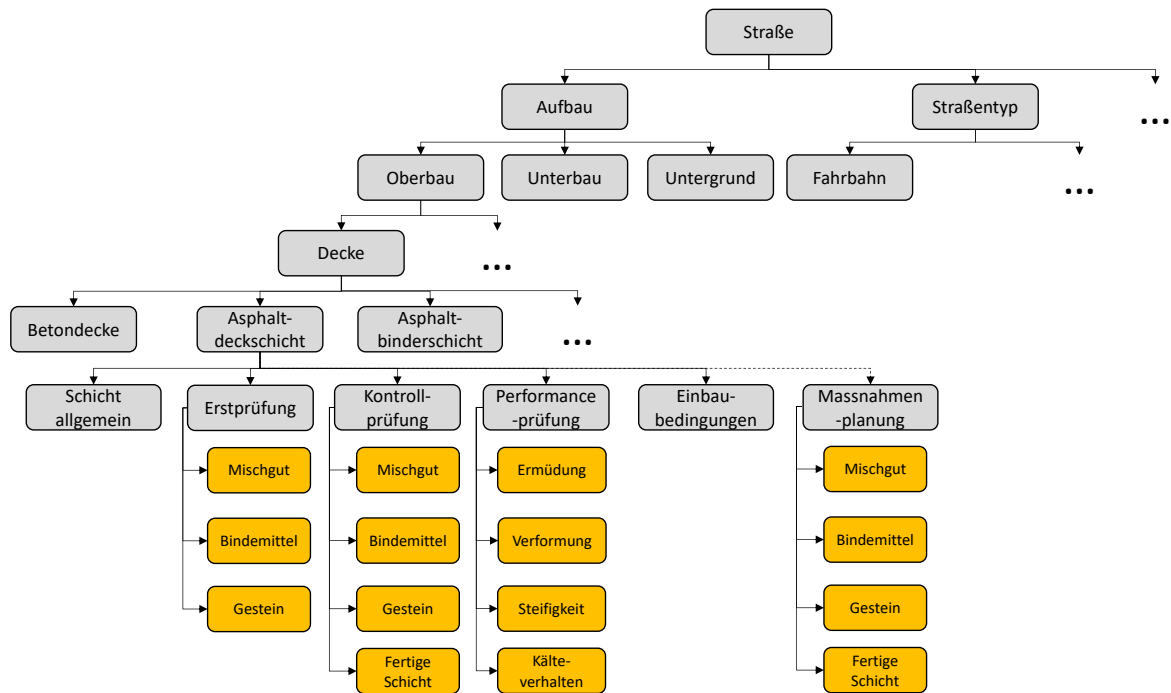


Abbildung 4-1: Systematik zur Erstellung von Merkmalsgruppen am Beispiel einer Asphaltdeckschicht (in Anlehnung an [Radenberg et al. 2022])

Die Merkmalgruppe Schicht_allgemein beinhaltet zunächst allgemeine Informationen, die zum Teil bereits zum Zeitpunkt der Planung vorliegen sowie bauablauf- und vertragsrelevante Daten beinhalten. Hierzu zählen die folgenden Eigenschaften:

Merkmalsgruppe zu allgemeinen Informationen zum Schichtmaterial

- PSET Schicht_allgemein
 - Schichtart
 - Mischgutsorte
 - Mittlere Einbaudicke
 - Mittlere Einbaumenge
 - Einbaudatum
 - Abnahmedatum
 - Verjährungsfrist



Im Folgenden werden die Merkmalgruppen mit ihren zugehörigen Merkmalen zu Prüfungen an den Ausgangsmaterialien (Gestein, Bindemittel) vorgestellt. Diese wurden in Abhängigkeit des Zeitpunktes der Prüfung in die Kategorien Erst- und Kontrollprüfung unterteilt, da der Umfang an Untersuchungen im Rahmen der beiden Prüfungen sowohl für die Ausgangsmaterialien als auch das Mischgut variiert:

Merkmalgruppen zu Prüfungen an den Ausgangsmaterialien

Erstprüfung:

- PSET Bindemittel_Erstprüfung
 - Bindemittelsorte
 - Rohdichte
 - Erweichungspunkt Ring und Kugel
 - Nadelpenetration
 - Elastische Rückstellung

- PSET Zement_Erstprüfung
 - Zementart
 - Erstarrzeit
 - Malfeinheit
 - Wasseranspruch
 - 2-Tage-Druckfestigkeit
 - Festigkeitsklasse
 - Hüttensandgehalt
 - Alkaligehalt

- PSET Gestein_Erstprüfung
 - Gesteinsart
 - Rohdichte
 - Korngrößenverteilung
 - Feinanteil (< 0,063 mm)
 - Frost-Tau-Widerstand > 4 mm
 - Frost-Tau-Widerstand < 4 mm
 - Frostwiderstand
 - Kornform

- Quellfähigkeit
- Widerstand gegen Polieren > 4 mm
- Widerstand gegen Polieren < 4 mm
- Widerstand gegen Zertrümmerung > 4 mm
- Eigenfeuchte

Kontrollprüfung:

- PSET Bindemittel_Kontrollprüfung
 - Bindemittelsorte
 - Rohdichte
 - Erweichungspunkt Ring und Kugel
 - Nadelpenetration
 - Statische Eindringtiefe
 - Dynamische Eindringtiefe
 - Elastische Rückstellung
- PSET Gestein_Kontrollprüfung
 - Korngrößenverteilung
 - Feinanteil

Merkmalsgruppen zu Prüfungen am Mischgut

Analog zu den Prüfungen an den Ausgangsmaterialien wurden die Merkmalsgruppen zu den Prüfungen am Mischgut wie folgt erstellt:

Erstprüfung:

- PSET Mischgut_Erstprüfung_Asphalt
 - Mischgutart
 - Hersteller Mischgut
 - Hersteller Gesteinskörnung
 - Rohdichte
 - Bindemittelgehalt
 - Hohlraumgehalt MPK
 - Raumdichte MPK
 - Art der Zusätze



- Menge der Zusätze
- Art und Anteil Asphaltgranulat
- Haftverhalten
- Widerstand gegen bleibende Verformung
- Statische Eindringtiefe
- Dynamische Eindringtiefe

- PSET Mischgut_Erstprüfung_Beton
 - Expositionsklasse
 - Feuchtigkeitsklasse
 - Druckfestigkeitsklasse
 - Biegezugfestigkeitsklasse
 - Spaltzugfestigkeitsklasse
 - Luftporengehalt
 - Mischzeit
 - Wassergehalt
 - Zementgehalt
 - w/z-Wert Frischbeton
 - Konsistenz Frischbeton
 - Rohdichte Frischbeton
 - Rohdichte Festbeton

Kontrollprüfung:

- PSET Mischgut_Kontrollprüfung_Ashphalt
 - Rohdichte
 - Hohlraumgehalt MPK
 - Raumdichte MPK
 - Bindemittelgehalt
 - Statische Eindringtiefe
 - Dynamische Eindringtiefe
 - Verdichtungsgrad

- PSET Mischgut_Kontrollprüfung_Beton
 - Expositionsklasse



- Feuchtigkeitsklasse
- Druckfestigkeitsklasse
- Biegezugfestigkeitsklasse
- Zementgehalt
- Luftporengehalt
- Nachbehandlung
- Zusatzstoff
- w/z-Wert Frischbeton
- Konsistenz Frischbeton
- Rohdichte Frischbeton

Merkmalsgruppen zu Prüfungen an der fertigen Schicht bzw. am fertigen Oberbau

Im Folgenden werden die Merkmalgruppen mit ihren zugehörigen Merkmalen zu Prüfungen an der fertigen Schicht im Rahmen der Herstellung bzw. der Kontrollprüfung, die nicht in den Mischgutuntersuchungen enthalten sind, dargestellt. Diese wurden in Abhängigkeit der betrachteten Schicht erstellt.

Kontrollprüfung:

- PSET Deckschicht_Beton_Kontrollprüfung
 - Verkehrsfreigabe
 - Ebenheit
 - Profilgerechte Lage
 - Griffigkeit_Reibbeiwert
 - Griffigkeit_Messgeschwindigkeit
 - Oberflächentexturtiefe
 - Rollgeräuschpegel
 - Wasserdurchlässigkeit
 - Anzahl Betonlagen einer Schicht
 - Lage und Überlappung von Vliesstoff
 - Nachbehandlung
 - Anzahl Anker
 - Anzahl Dübel
 - Abstand der äußeren Dübel vom Plattenrand
 - Abstand der äußeren Dübel von der Längsfuge

- Dübeltyp
- Dübel_Abweichung Schräglage
- Dübel_Abweichung Höhenlage
- Dübel_Abweichung senkrecht zur Fuge
- Waschbetonstruktur
- Betonüberdeckung obere Bewehrungslage
- Betonüberdeckung untere Bewehrungslage
- Zusatzbewehrung
- Dübel-Ausziehfestigkeit
- Verstärkte Platte
- Sporn
- Lage
- Fugentyp
- Fugentiefe
- Fugenbreite
- Fugenmaterial
- Fugen-/Kerbabstand in Querrichtung
- Fugen-/Kerbabstand in Längsrichtung
- PSET Deckschicht_Aspphalt_Kontrollprüfung
 - Verkehrsfreigabe
 - Ebenheit
 - Profilgerechte Lage
 - Griffigkeit_Reibbeiwert
 - Griffigkeit_Messgeschwindigkeit
 - Oberflächentexturtiefe
 - Rollgeräuschpegel
 - Wasserdurchlässigkeit
 - Hohlraumgehalt BK
 - Verdichtungsgrad
 - Schichtenverbund
- PSET Binderschicht_Aspphalt_Kontrollprüfung
 - Ebenheit

- Profilgerechte Lage
 - Verdichtungsgrad
 - Schichtenverbund
- PSET Tragschicht_gebunden_Kontrollprüfung
 - Ebenheit
 - Profilgerechte Lage
 - Verdichtungsgrad
 - Verformungsmodul
 - Vliesstoff
 - Schichtenverbund
- PSET Tragschicht_ungebunden_Kontrollprüfung
 - Ebenheit
 - Profilgerechte Lage
 - Verdichtungsgrad
 - Trockendichte
 - Verformungsmodul
 - Proctordichte
 - Vliesstoff
 - Bodenklasse
 - Frostepfindlichkeitsklasse
 - Wasserdurchlässigkeit
- PSET Untergrund_Unterbau_Kontrollprüfung
 - Ebenheit
 - Profilgerechte Lage
 - Verdichtungsgrad
 - Wassergehalt
 - Proctordichte
 - Art und Herkunft des Bodens

Merkmalsgruppen zu verhaltensorientierten Prüfverfahren

In Hinblick auf die erweiterte Nutzung von baustofftechnischen Prüfdaten im Rahmen des Asset Managements wurde weiterhin zwischen der Art des Prüfverfahrens unterschieden. Um zukünftig eine verbesserte Abschätzung der Lebensdauer der Straßeninfrastruktur zu ermöglichen, werden zunehmend, neben den konventionellen Baustoffprüfungen, sogenannte verhaltensorientierte (performance-orientierte) Prüfverfahren durchgeführt.

Während bei konventionellen Prüfverfahren definierte, empirisch festgelegte Kennzahlen und -werte zur Beschreibung der Eigenschaften der Materialien ermittelt werden, ohne eine genaue Aussage über das zukünftige Verhalten der eingesetzten Materialien zu formulieren, ermöglichen performance-orientierte Prüfverfahren eine Aussage in Hinblick auf die zeit- bzw. lastabhängige Veränderung bestimmter Eigenschaften der Ausgangsmaterialien und der Mischgutsorten. Hierbei wurde zwischen Prüfverfahren an Probekörpern in Abhängigkeit der Bauweise (Asphalt vs. Beton) und Prüfverfahren am Bindemittel differenziert. Die nachfolgende Abbildung 4-2 gibt einen Überblick zu den betrachteten verhaltensorientierten Prüfverfahren an Asphalt.

| Ermüdung / EN 12697-24 Charakterisierung der Ermüdungseigenschaften | Verformung / EN 12697-25 Beständigkeit gegen bleibende Verformung | Steifigkeit / EN 12697-26 Charakterisierung der Steifigkeitseigenschaften | Kälteverhalten / EN 12697-46 Widerstand gegen Kälterisse |
|---|--|---|--|
| Widerstand gegen ermüdungsbedingte Rissbildung, die infolge wiederholter Verkehrsbelastung zu fortschreitender Schädigung und dadurch zu verringerter Steifigkeit und Festigkeit führt. | Viskoelastische Kenngröße zur Berechnung der temperatur- und belastungszeitabhängigen Spannungs-Dehnungsbeanspruchungen in Asphaltschichten. | Ermittlung des komplexen E-Moduls und der komplexen Querdehnzahl in Abhängigkeit der Temperatur. | Ermittlung der Zugspannung bei einer festgelegten Temperatur bis zu der der Asphalt dem Ausfall widerstehen kann. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Zweipunkt BZV • Dreipunkt BZV • Vierpunkt BZV • Indirekte Zugprüfung | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einaxialer DSV ▪ Triaxialer DSV | <ul style="list-style-type: none"> • Zweipunkt BZV • Dreipunkt BZV • Vierpunkt BZV • Indirekte Zugprüfung | <ul style="list-style-type: none"> • Direkter Zugversuch • Abkühlversuch • Relaxationsversuch • Zugkriechversuch |
| ✓ Ermüdungsfunktion | ✓ Impulskriechkurve | ✓ Hauptkurve | ✓ Zugfestigkeit, Ausfalltemperatur |

| Verformung / EN 12697-22 Verformungsanfälligkeit bei wiederholter Belastung |
|---|
| Die Verformungsanfälligkeit von Asphalt wird anhand einer Spurrinne geprüft, die durch wiederholte Übergänge eines belasteten Rades bei konstanter Temperatur erzeugt wird. |

Abbildung 4-2: Verhaltensorientierte Prüfverfahren an Asphalt

Prüfverfahren für Asphalt

Die verhaltensorientierten Prüfungen am Baustoff Asphalt werden mit Hilfe von vier Merkmalsgruppen beschrieben, um die verhaltensorientierten Eigenschaften bzgl. Ermüdung, Verformung, Steifigkeit und Kälteverhalten abzubilden:

Merkmalsgruppen zur Beschreibung des Ermüdungsverhaltens und zur Charakterisierung der Steifigkeitseigenschaften:

- PSET 4-Punkt-Biege-Ermüdungsprüfung
 - Dehnung, die einer Dauerhaltbarkeit von 10^6 Zyklen entspricht
 - Parameter A_0 der Ermüdungsfunktion
 - Parameter A_1 der Ermüdungsfunktion
- PSET Spaltzug-Schwellversuch
 - Lastwechselzahl bis zum Makroriss
 - Materialspezifischer Parameter k der Ermüdungsfunktion
 - Materialspezifischer Parameter n der Ermüdungsfunktion
 - Anfängliche elastische horizontale Dehnung in Probekörpermitte

Merkmalsgruppen zur Beschreibung des Verformungsverhaltens:

- PSET Spurbildungsversuch
 - Absolute Spurrinnentiefe
 - auf die Dicke der Asphalt-Probepalte bezogene proportionale Spurrinnentiefe
- PSET Einaxialer Druck-Schwell-Versuch
 - Kriechrate
 - Gesamtaxialverformung
 - Regressionsparameter 1
 - Regressionsparameter 2
- PSET Triaxialer Druck-Schwell-Versuch
 - Kriechrate
 - Gesamtaxialverformung

- Regressionsparameter 1
- Regressionsparameter 2

- PSET Dynamischer Stempelleindringversuch
 - Kriechrate
 - Plastische Druckdehnung
 - Plastische Druckdehnung im Wendepunkt
 - Anzahl der erfolgten Belastungszyklen bis zum Wendepunkt
 - Dehnungsrate im Wendepunkt

Merkmalsgruppen zur Beschreibung des Widerstands gegen Kälterisse:

- PSET Abkühlversuch
 - Bruchtemperatur
 - Bruchspannung
 - Kryogener Zugspannungsverlauf

- PSET Einaxialer Zugversuch
 - Prüftemperatur
 - Ausfalldehnung
 - Zugfestigkeit

- PSET Einaxialer Zug-Schwellversuch
 - Steifigkeitsmodul
 - Bruchlastwechselzahl

Die hier aufgezeigten Prüfverfahren beinhalten die derzeit wichtigsten Versuche zur Charakterisierung der Gebrauchseigenschaften von Asphalt. Einige dieser Prüfverfahren sind bzw. werden derzeit in die bestehenden nationalen Regelwerke integriert. Hierbei ist festzuhalten, dass trotz einer europäischen Normung der Prüfverfahren, länderspezifische Parametersets innerhalb eines Prüfverfahrens zur Anwendung kommen. Dies bedeutet, dass zwischen den Ländern z. T. unterschiedliche Bezeichnungen der Parameter sowie unterschiedliche Kennwerte verwendet werden (vgl. Abbildung 4-3).

| Versuch | EN Bezug | Regelwerk D | Regelwerk A | Regelwerk CH | Kennzeichnung D | | | Kennzeichnung A | | | Kennzeichnung CH | | |
|--------------------------|-------------|------------------------|-------------------|---------------------------|--|------------------------|---------|--|------------------|-----------|--|-----------------|-----------|
| | | | | | Ergebnis-Kenngröße | Parameter | Einheit | Ergebnis-Kenngröße | Parameter | Einheit | Ergebnis-Kenngröße | Parameter | Einheit |
| Spaltzug-Schwell-Versuch | EN 12697-24 | TP Asphalt-StB Teil 24 | ÖNORM EN 12697-24 | VSS EN 12697-24, Anhang E | Lastwechselzahl bis zum Makroriss | N _{Makro} | - | Anzahl der Lastzyklen bei Anwendung des elastischen Ansatzes | N _{f,w} | - | Anzahl der Lastangriffe | N _f | - |
| | | | | | materialspezifischer Parameter d. Ermüdungsfunktion | k | - | Werkstoffkonstanten bei Anwendung des elastischen Ansatzes | k _w | - | Materialkonstanten | k | - |
| | | | | | materialspezifischer Parameter d. Ermüdungsfunktion | n | - | Werkstoffkonstanten bei Anwendung des elastischen Ansatzes | n _w | - | Materialkonstanten | n | - |
| | | | | | anfängliche elastische horizontale Dehnung in Probekörpermitte | $\varepsilon_{el,anf}$ | ‰ | anfängliche Dehnung in der Mitte des Probekörpers | Σ_0 | $\mu m/m$ | Zugdehnung in der Mitte des Probekörpers | ε_0 | $\mu m/m$ |
| | | | | | Bestimmtheitsmaß | R ² | - | Korrelationskoeffizient | R ² | - | Korrelationskoeffizient | R ² | - |

Abbildung 4-3: Vergleich von Parameterbezeichnungen am Beispiel des Spaltzug-Schwellversuches in Deutschland und der Schweiz

Aufgrund des beschriebenen Sachstands wurde im Rahmen dieses Projektes auf eine abschließende Erstellung von länderspezifischen Merkmalsgruppen für diese verhaltensorientierten Prüfverfahren verzichtet. Stattdessen wurde hier eine allgemeingültige Systematik sowie Grundstruktur erarbeitet und vorgeschlagen, die es ermöglicht zu einem späteren Zeitpunkt individuell eingeführte Kennwerte in die erstellten Merkmalsgruppen zu integrieren.

Prüfverfahren für Beton

Für die verhaltensorientierten Prüfverfahren am Baustoff Beton wurden keine Merkmalsgruppen erstellt. Diese können aber analog zur Vorgehensweise wie bei den Asphaltprüfverfahren erstellt und ergänzt werden. Hierzu zählen bspw. Prüfverfahren zur Untersuchung der Dauerhaftigkeit, des Verformungsverhaltens und der Ermüdungseigenschaften des Betons.

Prüfverfahren für Bindemittel

Die Ergebnisse aus verhaltensorientierten Prüfverfahren am Bindemittel wurden mit den folgenden Merkmalsgruppen und ihren Merkmalen erfasst:

- PSET Biegebalkenrheometer
 - Biegekriechsteifigkeit
 - m-Wert



- PSET Kraftduktilität
 - Formänderungsenergie
 - Kohäsionsenergie
 - Zugkraft

- PSET Dynamisches Scherrheometer
 - komplexer Schubmodul
 - Phasenwinkel

- PSET Bitumen-Typisierungs-Schnellverfahren
 - Äqui-Schermodul-Temperatur
 - Phasenwinkel

- PSET Multiple Stress Creep and Recovery Test
 - Rückformung
 - Nachgiebigkeit

Eine tabellarische Übersicht zu den Merkmalsgruppen und Merkmalen der betrachteten Performanceprüfungen und ihren Kennwerten ist in Anhang A.4 enthalten.

Prüfverfahren zur Alterung von Bindemittel

Neben den verhaltensorientierten Prüfverfahren am Bindemittel bzw. Asphalt existiert eine Reihe an Verfahren, die den Konditionierungsprozess der Materialien versuchen abzubilden. Dazu zählt der Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT-Verfahren), bei dem die kombinierten Effekte aus Wärme und Luft auf einen dünnen Bitumenfilm angesprochen werden. Ziel des Versuchs ist es, die Alterungsprozesse des Bitumens während des Mischens und des Transports zu simulieren [DIN 2015c]. Um die anschließende Langzeitalterung von Asphalt anzusprechen, wird mit Hilfe des Druckalterungsbehälters PAV (Pressure Ageing Vessel) eine Alterung simuliert. Damit soll das Maß an Alterung simuliert werden, dem das Bitumen nach einigen Jahren Liegezeit ausgesetzt ist [DIN 2015d]. Da es sich bei den aufgezeigten Verfahren nicht um Prüfverfahren, sondern Konditionierungsverfahren handelt, wurden für diese Prüfverfahren keine Merkmalsgruppen erstellt. Es ist jedoch zukünftig denkbar, die nach einer Konditionierung der Materialien mit den verhaltensorientierten Prüfverfahren ermittelten

Ergebnisse in die Merkmalsgruppen zu integrieren. Damit lägen wichtige materialspezifische Informationen vor, die im Rahmen des Asset Managements z. B. bei der Abschätzung der Zustandsentwicklung berücksichtigt werden könnten.

Merkmalsgruppe zu den Einbaubedingungen

Des Weiteren wurde eine Merkmalsgruppe zur Abbildung der Einbaubedingungen erstellt. Diese beinhaltet die folgenden Merkmale:

- PSET Einbaubedingungen
 - Einbautemperatur des Mischguts
 - Einbautemperatur der Luft
 - Witterungsverhältnisse
 - Sonstiges

Merkmalsgruppen zu Untersuchungen im Rahmen der Maßnahmenplanung

Des Weiteren wurden eigene Merkmalsgruppen zur Abbildung von Untersuchungen an Ausbaustücken bzw. Bohrkernen angelegt, die im Rahmen einer Maßnahmenvorbereitung durchgeführt werden können. Diese Merkmalsgruppen weisen die gleiche Struktur und Merkmale wie der Erst- und Kontrollprüfung auf.

4.2.2 Daten zu geplanten Erhaltungsmaßnahmen

Des Weiteren wurde eine Merkmalsgruppe zur Abbildung von geplanten Erhaltungsmaßnahmen erstellt. Diese beinhaltet die folgenden Merkmale:

- PSET Massnahmenplanung
 - Massnahmenart
 - Zeitpunkt
 - Kosten
 - Grund der Durchführung der Maßnahme

Neben den dargestellten baustofftechnischen Daten und den Informationen aus der Maßnahmenplanung galt es, zusätzliche Merkmalsgruppen für die Zustandserfassung und -bewertung zu erstellen, um die während der Nutzung anfallenden Informationen zum Oberflächenzustand darstellen zu können.

4.2.3 Daten der Zustandserfassung und -bewertung

Zur Abbildung der im Rahmen der Zustandserfassung erhobenen Informationen wurden eigene Merkmalsgruppen erstellt und mit Merkmalen verknüpft. Hierbei wurde zunächst zwischen allgemeinen Informationen zur jeweiligen ZEB-Kampagne bzw. der Erfassung und den hierbei erfassten Oberflächenmerkmalen differenziert. Letztere wurden jeweils in eigene Merkmalsgruppen für Zustandsgrößen und -werte in Abhängigkeit der Bauweise untergliedert. Weiterhin wurde eine eigene Merkmalsgruppe für zu z. B. übergeordnete Teil- und Gesamtwerte zusammengesetzte Zustandsmerkmale im Rahmen der Zustandsbewertung erstellt. Nachfolgend sind die verwendeten Merkmalsgruppen für die Zustandserfassung und -bewertung dargestellt. Auf eine Auflistung aller Merkmale der Merkmalsgruppen für die Zustandsgrößen und -werte sowie der zusammengesetzten Teil- und Gesamtwerte wird an dieser Stelle verzichtet:

- PSET ZEB-Kampagne
 - Bezeichnung
 - Kurzbezeichnung
 - Umfang

- PSET Teilprojekt
 - TP_Bezeichnung
 - TP_Kurzbezeichnung
 - TP_Erfasser
 - TP_Hauptmessverfahren

- PSET Zustandsgroessen_Aspphalt
- PSET Zustandsgroessen_Beton
- PSET Zustandswerte_Aspphalt
- PSET Zustandswerte_Beton
- PSET Teil- und Gesamtwerte

Die erstellten Merkmalsgruppen sind in der nachfolgenden Abbildung 4-4 exemplarisch dargestellt.



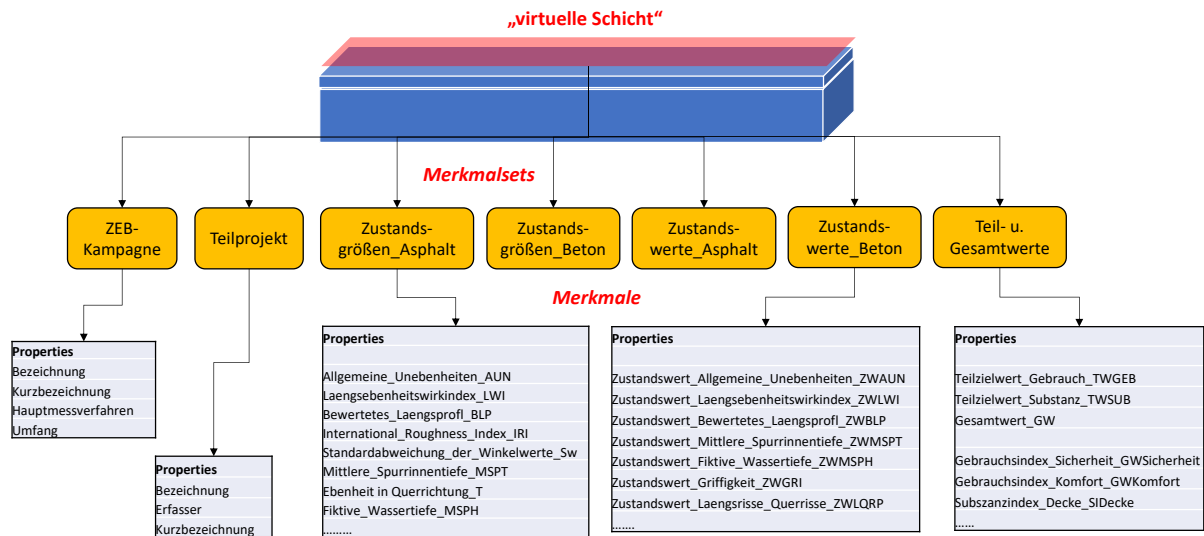


Abbildung 4-4: Merkmalsgruppen und Merkmale der Zustandserfassung und -bewertung

Eine tabellarische Übersicht zu den Merkmalsgruppen und Merkmalen der Zustandserfassung und -bewertung ist in Anhang A.3 enthalten.

4.3 Modellspezifische Vorgaben für die Erstellung von digitalen Bauwerksmodellen

Namensgebung, Klassifizierung, Aufbau und Strukturierung der digitalen Modelle sind für die Nutzung entscheidend. Alle Akteure sollten die spezifizierten Vorgaben zur Modellierung der digitalen Liefergegenstände beachten und umsetzen. Vorgaben zur Modellierung (Struktur und Inhalte) werden in der Regel durch eine Modellierungsrichtlinie beschrieben. Hierbei sind vorhandene Verwaltungsvorschriften und allgemeine Richtlinien und Normen zu beachten. Generell sollte jedoch darauf geachtet werden, keine zu engen Vorgaben an die Modellierung („wie“ die Modelle erstellt werden) zu definieren. Die Vorgaben sollen sich insgesamt vielmehr an dem zu übergebenden Ergebnis, dem digitalen Liefergegenstand („was“ die Modelle beinhalten sollen), orientieren.

Die Modellierungsrichtlinie umfasst die einheitliche Festlegung zur Namensgebung bzw. Klassifizierung, dem genutzten Koordinatensystem und Abbildung von Objekten auf ein konkretes Datenformat. Zu den jeweiligen Teil- und Fachmodelle werden Informationsbedarfstiefen (LOIN) aufgeteilt in geometrische und alphanumerische Information. festgelegt. Die Granularität im Sinn von Unterteilung des Modelelements insbesondere für das

Fahrbahnmodell sollte hinsichtlich der verschiedenen Anwendungen im Rahmen des Betriebs festgelegt werden.

Ein wichtiger Standard zur Modellierung eines digitalen Straßenmodells ist die EN 17412-1. In der EN 17412-1 wird ein Konzept zur Spezifikation der Informationsbedarfstiefe definiert und Details zu alphanumerischen und geometrischen Informationen sowie Dokumentation beschrieben. Im Rahmen dieses Berichts wird eine Modellierungsrichtlinie mit Fokus auf alphanumerische und geometrische Informationen vorgestellt. Die Abbildung der Dokumentation erfolgt auf Basis von Informationscontainern.

4.3.1 Lineare Referenzierung (IFC-Alignment)

Für die geometrische Referenzierung von Informationen ist eine eindeutige Modellierung der Trasse essentiell. Daher werden im Folgenden Vorgaben zur geometrischen Detaillierung der einzelnen Bauelemente und deren räumliche Anordnung erarbeitet. Mit IFC kann die Achse eines Verkehrswegs mit einem `IfcAlignment` abgebildet werden. Für die praktische Umsetzung des Alignments kommen grundsätzlich die folgenden verschiedenen Möglichkeiten in Frage:

Ein globales Alignment vs. mehrere lokale Alignments

Anstatt einer langen Achse wird das Alignment in mehrere untergeordnete Alignments zerstückelt. Diese untergeordneten Objekten können bspw. zwischen den Netzknotenpunkte bzw. Bezugspunkte abgegrenzt werden.

Ein **globales Alignment**, das mit allen Kreisbögen (`IfcCurve`) und Klothoiden (`IfcClotoid`) definiert wird, wird i. d. R. fein gegliedert erstellt. Die Umsetzung eines globalen Alignments erfordert die Verwendung von Bezugspunkten insbesondere wenn eine Höhenveränderung entlang des Alignments stattfindet.

Alternativ können zwischen Bezugspunkten lokale Alignments definiert werden. Über die **lokalen Alignments** werden gröbere Gliederungen durch Polylinien (`IfcPolyline`) abgebildet, um das Alignment zu erzeugen. Die Stützpunkte der Polylinien liegen auf dem Alignment in regelmäßigen Abständen. Je näher diese aneinander liegen, desto feiner kann die wahre Lage des Alignments abgebildet werden.

Fein vs. grob gegliedertes Alignment



Ein fein gegliedertes Alignment wird alle möglichen geometrischen Formen beinhalten. Neben Geraden werden Kreisbögen und Klothoiden verwendet, um die geometrische Form der Trasse exakt abzubilden. Alternativ kann das Alignment auch grob gestaltet werden, indem dieses mit Hilfe einer Polylinie mit regelmässigen Stützpunkten konstruiert wird. Die Stützpunkte können mit den Bezugspunkte übereinstimmen, oder in regelmässigen Abständen, wie z. B. 20 m, angeordnet werden.

Mit vs. ohne Bezugspunkte

Nicht alle Ordnungssysteme verwenden Bezugspunkte. Beispielsweise werden in Österreich keine Bezugs-/Knotenpunkte, sondern eine uniaxiale Kilometrierung verwendet. Bezugspunkte werden mit IfcReferent definiert.

Verwendung von Kalibrierungspunkten

Besonders bei Achsen, die ungenau erfasst werden, werden Kalibrierungspunkte benötigt. Bei großer Ungenauigkeit, ist es nützlich Stütz- und Kalibrierungspunkte mit regelmäßigem Abstand zu verwenden. Insbesondere bei einer rapiden Höhenänderung der Trasse wird eine regelmäßige Kalibrierung nötig.

Die Abbildung 4-5: Möglichkeiten zur Abbildung eines Alignments zeigt die Möglichkeiten zur Abbildung eines Alignments.

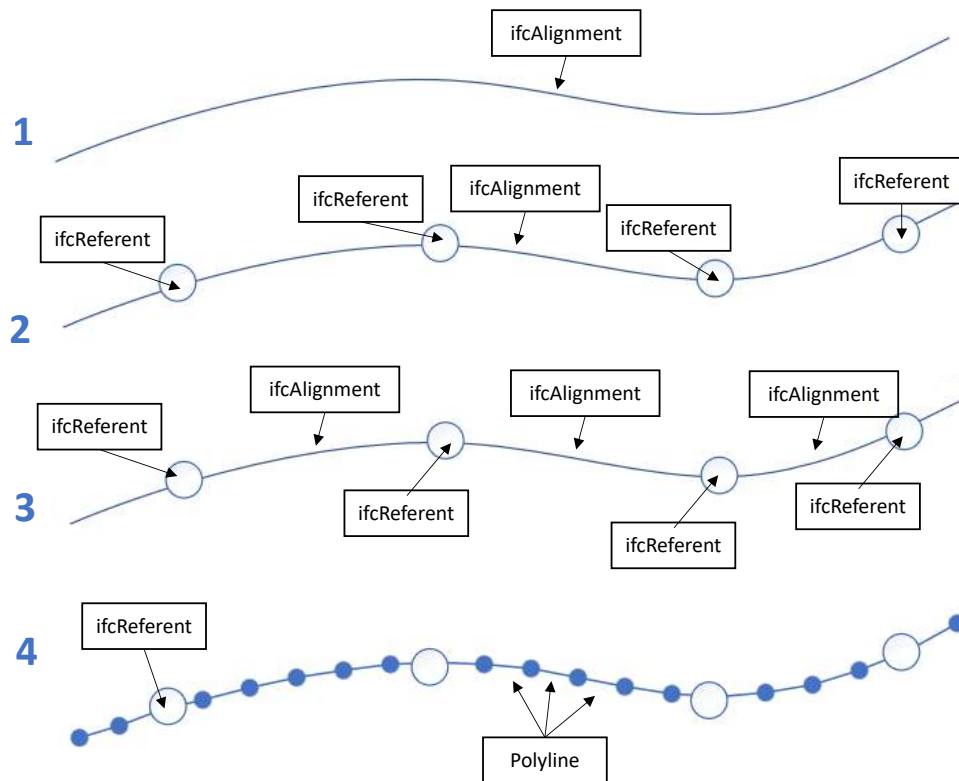


Abbildung 4-5: Möglichkeiten zur Abbildung eines Alignments

IFC Alignment in der Version 1.0 wurde mit der IFC4.1 erstmals eingeführt. In den für die Straßenplanung üblicherweise verwendeten, BIM fähigen Autorensoftware, wie z.B. InfraWorks und Civil3D von Autodesk, ProVI oder Card1 steht IFC Alignment an sich zur Verfügung. Eine vollumfängliche und funktionsfähige Implementierung wurde bisher allerdings noch nicht umgesetzt.

Im Rahmen der Entwicklung des Prototyps und des zugrunde liegenden BIM Straßenmodells wurde ein globales Alignment mit Bezugspunkten (vgl. Abbildung 4-5, Möglichkeit 2) umgesetzt. In der Autorensoftware wird das Alignment mit den Elementen Gerade, Klotheide und Kreisbogen abgebildet und als IFC Klasse ifcBuildingElementProxy exportiert.

Die Umsetzung der linearen Referenzierung und der länderspezifischen Ordnungssysteme erfolgt mit dem Anhängen von entsprechenden PropertySets an die baulichen Elemente Deckschicht, Tragschicht und Frostschutzschicht, als auch an Bohrkerne. Allgemein gültige Eigenschaften für die lineare Referenzierung wurden in einem PropertySet „Mset_BIM4AMS_LinRef_common“ zusammengefasst. Dieses enthält Merkmale über die

Projektstruktur (Funktionsgliederung, topologische Gliederung) sowie zur Definition von Semantik (Benennung der Elemente) – siehe hierzu die folgende Abbildung 4-6.

| Mset_BIM4AMS_LinRef_common | |
|----------------------------|--------------------|
| Element | Tragschicht |
| Element_Spezifikation | Frostschuttschicht |
| Teilgewerk | Oberbau |
| Gewerk | Aufbau |
| Fachdisziplin | Strasse |

Abbildung 4-6: Allgemeine Merkmale zur linearen Referenzierung

Aufgrund länderspezifischer Unterschiede der Ordnungssysteme wurden zusätzlich entsprechende länderspezifische PropertySets zur Abbildung der entsprechend erforderlichen Referenzierungsinformationen an die baulichen Elemente angehängt.

Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft für ein bauliches Element «Frostschuttschicht» die länderspezifischen Referenzierungsinformationen, abgebildet in den PropertySets

- MSet_BIM4AMS_LinRef_specific_DE (für Deutschland)
- MSet_BIM4AMS_LinRef_specific_CH (für die Schweiz)
- MSet_BIM4AMS_LinRef_specific_AT (für Österreich)

| MSet_BIM4AMS_LinRef_specific_DE | |
|---------------------------------|------------------|
| Netzknotennummer | 5123028 |
| Abstand_quer_1 | 4.060759506 |
| Abstand_quer_2 | 4.060759506 |
| Abstand_von | 74580 |
| Abstand_bis | 74586.8608934411 |
| Breite_1 | 4.060759506 |
| Strasse | S2 |
| Kreis | Diepholz |
| Gemeinde | Sulingen |
| Ortsteil | - |
| Bauamt | Niedersachsen |
| Meisterei | MusterMeisterei |
| Abschnittsnummer | 100 |
| Anschlussstellen | - |
| Netzknoten | Diepholz |
| VST | 74580 |
| BST | 74586.8608934411 |
| Betriebskilometer | 74583.43 |
| Breite_2 | 4.060759506 |
| VNK | 5123027 |
| BNK | 5123029 |

Abbildung 4-7: Merkmale zur linearen Referenzierung – System Deutschland

| MSet_BIM4AMS_LinRef_specific_CH | |
|---------------------------------|-------------------------|
| Achse | BIM4AMS_Strassenachse_1 |
| BP_Anfang | 310 |
| U_Distanz_Anfang_m | 280 |
| Achsdistanz_Anfang_m | 74580 |
| BP_Ende | 310 |
| U_Distanz_Ende_m | 286.860893441059 |
| Achsdistanz_Ende_m | 74586.8608934411 |
| Laenge_m | 6.860893441059 |
| Rand_links_Anfang_m | 0 |
| Rand_links_Ende_m | 0 |
| Breite_Anfang_m | 4.060759506 |
| Breite_Ende_m | 4.060759506 |
| Flaeche | 27.860438260432 |

Abbildung 4-8: Merkmale zur linearen Referenzierung – System Schweiz

| MSet_BIM4AMS_LinRef_specific_AT | |
|---------------------------------|-------------------------|
| Strassenkategorie | S |
| Strassennummer | 31 |
| Richtungsfahrbahn | 1 |
| Fahrstreifen | 1 |
| Referenzachse | BIM4AMS_Strassenachse_1 |
| Station_Anfang | 74580 |
| Station_Ende | 74586.8608934411 |
| Station_Anfang_Normalabstand | 4.060759506 |
| Station_Ende_Normalabstand | 4.060759506 |
| Station_Anfang_Breite | 4.060759506 |
| Station_Ende_Breite | 4.060759506 |

Abbildung 4-9: Merkmale zur linearen Referenzierung – System Österreich

4.3.2 Semantische Informationen – Baustofftechnische Merkmale

Die Merkmale und Merkmalsgruppen wurden in Kapitel 4.2 vorab definiert. Grundsätzlich kann ein Eigentümer vorgeben, welche Informationen benötigt und von der Projektleitung geliefert werden müssen. Der OKSTRA und dessen «DataTypes» werden als Hauptgrundlage genommen, da der deutsche OKSTRA bereits eine ausführliche Gliederungstiefe aufweist.



Zusätzlich wird diese Liste mit Materialdaten, die in Österreich und der Schweiz erfasst werden, verglichen.

Ein länderspezifischer Wertekatalog kann auch für einzelne Merkmale angelegt werden. Anhand der vorhandenen Grundlagen der baustofftechnischen Daten, der Datentabellen des OKSTRA und den Datenabläufen des Asset Management und der BIM-Modellierung werden Informationsanforderungen bestimmt. Diese Informationen werden durch Merkmale beschrieben und anhand von Merkmalsgruppen strukturiert. In der nachfolgenden Abbildung 4-10 ist die Vorgehensweise zur Erstellung von Informationsanforderungen dargestellt.

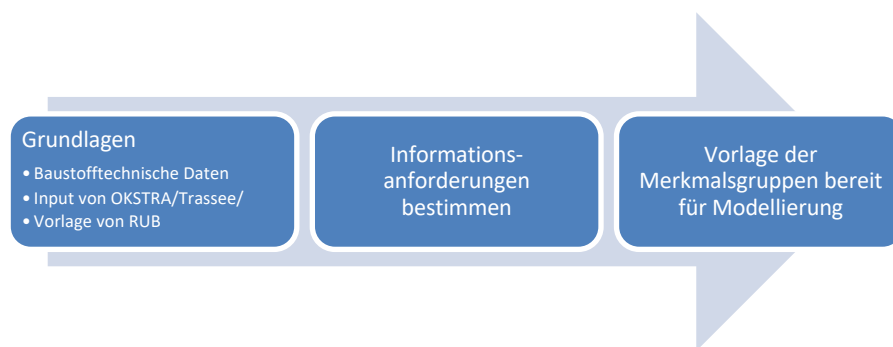


Abbildung 4-10: Vorgehensweise zur Erstellung von baustofftechnischen Merkmalsgruppen

Alle Merkmalsgruppen können beliebigen Entitäten zugeordnet werden siehe Abbildung 4-11. Allerdings ist es dem Eigentümer freigestellt, welche Merkmalsgruppen für welche Entitäten von der Projektleitung anzufordern sind.

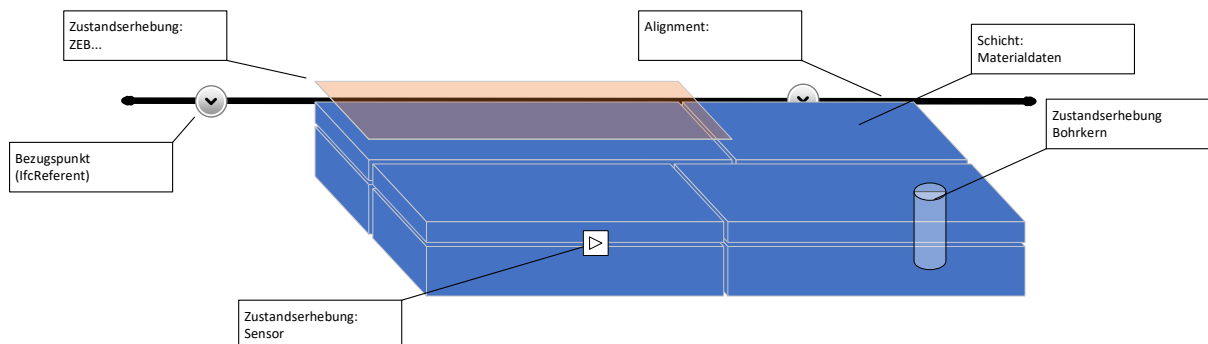


Abbildung 4-11: Anheftung von Informationen an geometrische Elemente einer Straße

4.3.3 Ontologie der baustofftechnischen Merkmale

In einer Ontologie werden Begriffe und Beziehungen zwischen den Begriffen aus verschiedenen Domänen einheitlich erfasst. Um eine Ontologie zu definieren, kann entweder

das Resource Description Framework (RDF) oder die Web Ontology Language (OWL) verwendet werden. Die Informationen können als Instanzen auf Basis der definierten Ontologie maschinenlesbar erfasst werden.

Als eine europäische, spezifische Datenklassifizierung für Infrastrukturanlagen wurde die Ontologie für Straßeninfrastrukturen (European Road OTL¹⁶) im Rahmen des INTERLINK Projektes erstellt (siehe Abbildung 4-12). Diese beinhaltet Entitäten bzw. Klassen, um die Informationen in folgenden Hauptbereichen zu erfassen:

- Aktivitäten während des Lebenszyklus
- Zuständige Organisation
- Physikalische Objekte
- Örtlichkeit

Darunter sind weitere Unterklassen für eine Detailklassifikation der zu erfassenden Informationen vorhanden. Diese Ontologie kann als Basis für die Entwicklung von nationalen Ontologien verwendet werden. Eine Anleitung zur Modellierung von nationalen Ontologien sowie die Verlinkung mit EUOTL wurde im INTERLINK (<https://www.roadotl.eu/publications/>) erarbeitet und veröffentlicht.

Die in Kapitel 4.2 identifizierten Merkmale und Merkmalsgruppe können als Ontologie erstellt werden. Diese Ontologie kann entweder als unabhängige Ontologie oder mit Bezug zur EUOTL realisiert werden. Die Verknüpfung mit der EUOTL kann auch zu einem späteren Zeitpunkt hergestellt werden. Bezogen auf die Anwendungsfälle für Infrastruktur Asset Management, werden die angeforderten baustofftechnischen Informationen als RDF-basierte Daten mit Hilfe der Ontologie „Baustoff Daten Ontology“ erfasst werden. Weiterhin können die semantischen Informationen mit dem Straßenmodell im IFC-Format mittels Informationscontainer verknüpft werden.

¹⁶ <https://www.roadotl.eu/publications/>

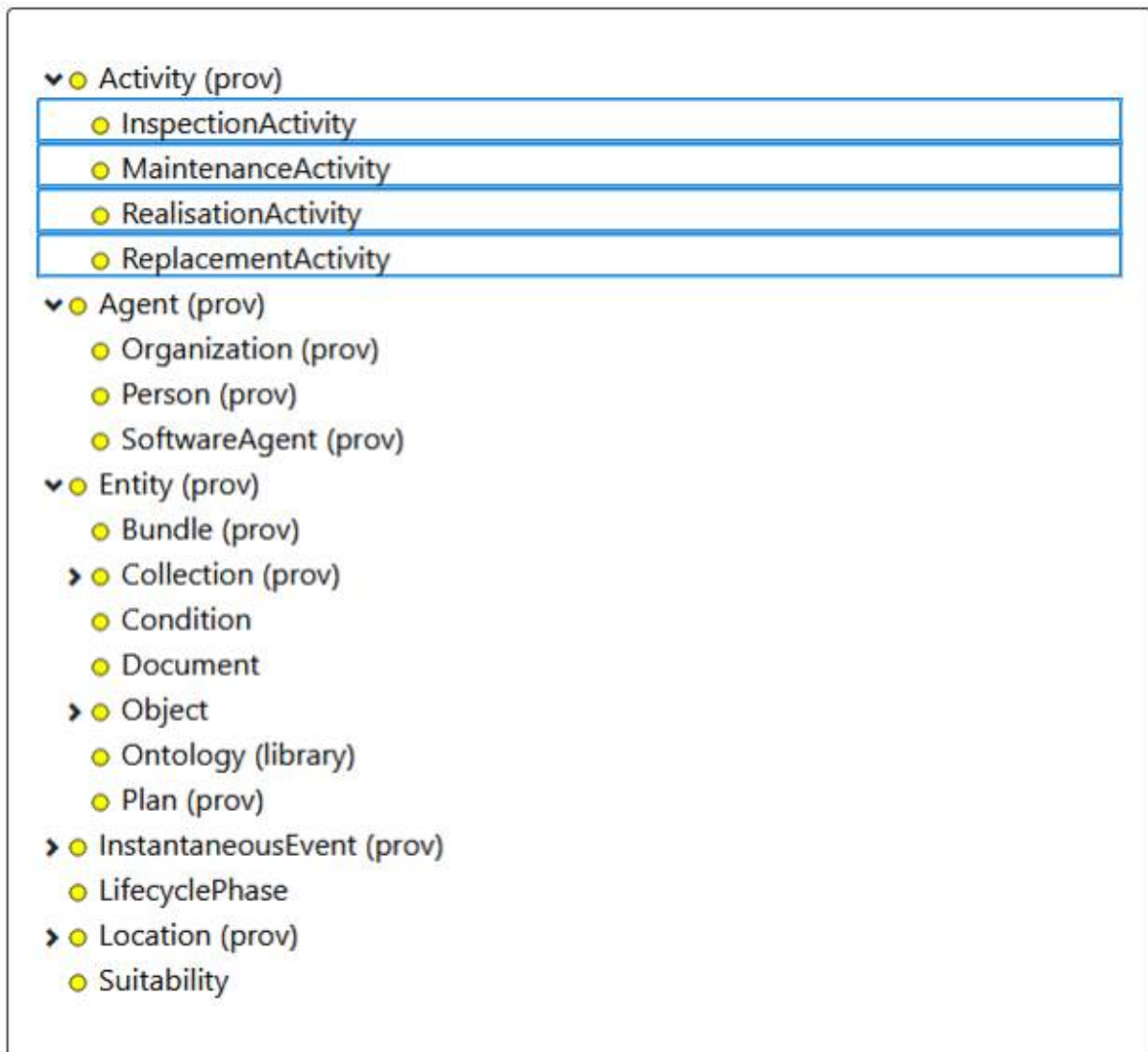


Abbildung 4-12: Übersicht der EUROTL Ontologie mit Hauptklassen und Teil der Unterklassen

Baustoff Daten Ontology (BSD)

Die Ontologie für die baustofftechnischen Daten von Fahrbahnen wird unter Namespace <<http://www.bim4ams.tech/ontology/BaustoffDaten>> mit Präfix BSD: definiert. In der Ontologie werden die vordefinierten Merkmalsgruppen für die baustofftechnischen Daten als Klassen umgesetzt. Es werden Klassen nach den vorhandenen Kategorien aus Abschnitt 3.2 unterteilt:

- Materialeigenschaften
- Prüfverfahren
- Informationen zu Einbaubedingungen

Abbildung 4-13 zeigt fünf wesentliche Klassen. Anschließend werden detaillierte Eigenschaften



bzw. konkrete Prüfverfahren spezifiziert (siehe Abbildung 4-14 u. Abbildung 4-15).

- > ● BSD:EigenschaftenEinbaustoffe
- > ● BSD:EigenschaftenZEB
- BSD:EinbauBedingung
- > ● BSD:Prüfverfahren
- BSD:SchichtDaten

Abbildung 4-13: Übersicht der Hauptklassen Baustoff Daten Ontology

- BSD:EinbauBedingung
- ▼ ● BSD:Prüfverfahren
 - BSD:Abkuehlversuch
 - BSD:Biegebalkenrheometer
 - BSD:BTSV
 - BSD:DSR
 - BSD:DynStempeleindring
 - BSD:EinaxiDruckSchwellVersuch
 - BSD:EinaxiZugSchwellVersuch
 - BSD:EinaxiZugversuch
 - BSD:Ermuedungpruefung
 - BSD:Kraftduktilitaet
 - BSD:MSCR
 - BSD:SpaltzugSchwellVersuch
 - BSD:Spurbildungsversuch
 - BSD:TriaxiDruckSchwellVersuch
- BSD:SchichtDaten

Abbildung 4-14: Unterklassen mit Performance Prüfverfahren

- ▼ ● BSD:EigenschaftenEinbaustoffe
 - BSD:AsphaltbinderKontrollpr
 - BSD:AsphaltbinderMassnahmenpl
 - BSD:AsphaltdeckKontrollpr
 - BSD:AsphaltdeckMassnahmenpl
 - BSD:BetondeckKontrollpr
 - BSD:BetondeckMassnahmenpl
 - BSD:BindemErstpr
 - BSD:BindemKontrollpr
 - BSD:BindemMassnahmenpl
 - BSD:GesteinErstpr
 - BSD:GesteinKontrollpr
 - BSD:GesteinMassnahmenpl
 - BSD:MischgutAsphaltErstpr
 - BSD:MischgutAsphaltKontrollpr
 - BSD:MischgutAsphaltMassnahmenpl
 - BSD:MischgutBetonErstpr
 - BSD:MischgutBetonKontrollpr
 - BSD:MischgutBetonMassnahmenpl
 - BSD:TragGebundenKontrollpr
 - BSD:TragGebundenMassnahmenpl
 - BSD:TragUngebundenKontrollpr
 - BSD:TragUngebundenMassnahmenpl
 - BSD:UnterbauKontrollpr
 - BSD:UnterbauMassnahmenpl
 - BSD:ZementErstpr
 - BSD:ZementMassnahmenpl
- ▼ ● BSD:EigenschaftenZEB
 - BSD:TeilGesamtwert
 - BSD:ZustandswertAsphalt
 - BSD:ZustandswertBeton

Abbildung 4-15: Unterklassen Eigenschaften mit konkretem Material

Erhaltungsmaßnahme Ontology (ERMO)

Die Ontologie für die Maßnahmenplanung wird unter dem Namespace `<http://bim4ams.tech/ontology/Erhaltungsmaßnahme>` mit Prefix `ERMO:` definiert. Die Ontologie enthält nur eine Klasse `ERMO:Programm`, welche die geplante Erhaltungsmaßnahme beschreibt. Diese Klasse beinhaltet vier Data-Properties `ERMO:Beschreibung`, `ERMO:Type`, `ERMO:Jahr` und `ERMO:Kosten` (siehe Abbildung 4-16).

| [Property] | Range | Domain Class |
|-------------------|-------------|---------------|
| ERMO:Beschreibung | xsd:string | ERMO:Programm |
| ERMO:Jahr | xsd:gYear | ERMO:Programm |
| ERMO:Kosten | xsd:decimal | ERMO:Programm |
| ERMO:Type | xsd:string | ERMO:Programm |

Abbildung 4-16: Übersicht der Dataproperty von ERMO:Programm

4.4 Erstellung und Modifikation von Informationen

Im Rahmen der Prozesse werden Informationen zu den Baustoffen und Bauelementen erstellt, erweitert, geändert und mit anderen Informationen verknüpft. Für die Prozessschritte werden konkrete Erstellungs-, Modifikations- und Verknüpfungskonzepte definiert.

4.4.1 Erstellung eines Bauwerkmodells

Im Rahmen der Vorbereitung einer ersten prototypischen Anwendung wurde ein begrenzter Straßenabschnitt mit einer Länge von ca. 1,2 km als BIM-Modell in der Autorensoftware AutoDesk Civil 3D 2020 erstellt. Entlang des Straßenabschnitts wurde ein digitales Geländemodell (triangulated irregular network TIN) modelliert. Das zugrundeliegende Alignment der Straße wurde aus den Trassierungselementen Gerade, Kreisbogen und Klothoide aufgebaut. Die Gradienten weist eine maximale Längsneigung von 1,46 % auf. Der an das Gelände angepasste Verlauf der Gradienten ergibt eine Neigungsänderung, welche als Kuppe und einen Neigungswechsel, welcher als Wanne ausgerundet ist. Der Regelquerschnitt entspricht einem Straßenquerschnitt RQ 10.5 gemäß „Richtlinien für die Anlage von Landstraßen“ (FGSV 2012a) mit einem Aufbau gemäß den „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen“, Ausgabe 2012 (FGSV 2012b).

Die Modellierung der Straße erfolgte getrennt nach Richtungsfahrbahnen und Schichten des Oberbaus unterteilt in Asphaltdecke, Asphalttragschicht und Frostschutzschicht. Die Granularität der Modellelemente des Fahrbahnaufbaus in Längsrichtung wurde mit Elementlängen von 20 m festgelegt (Abbildung 4-17).

Zur Anreicherung der Modellelemente mit Informationen werden jedem Modellelement des Fahrbahnaufbaus die erforderlichen Eigenschaftssätze (engl. PropertySets) entsprechend den in Kapitel 4.2 definierten Merkmalen und Merkmalsgruppen angeheftet.

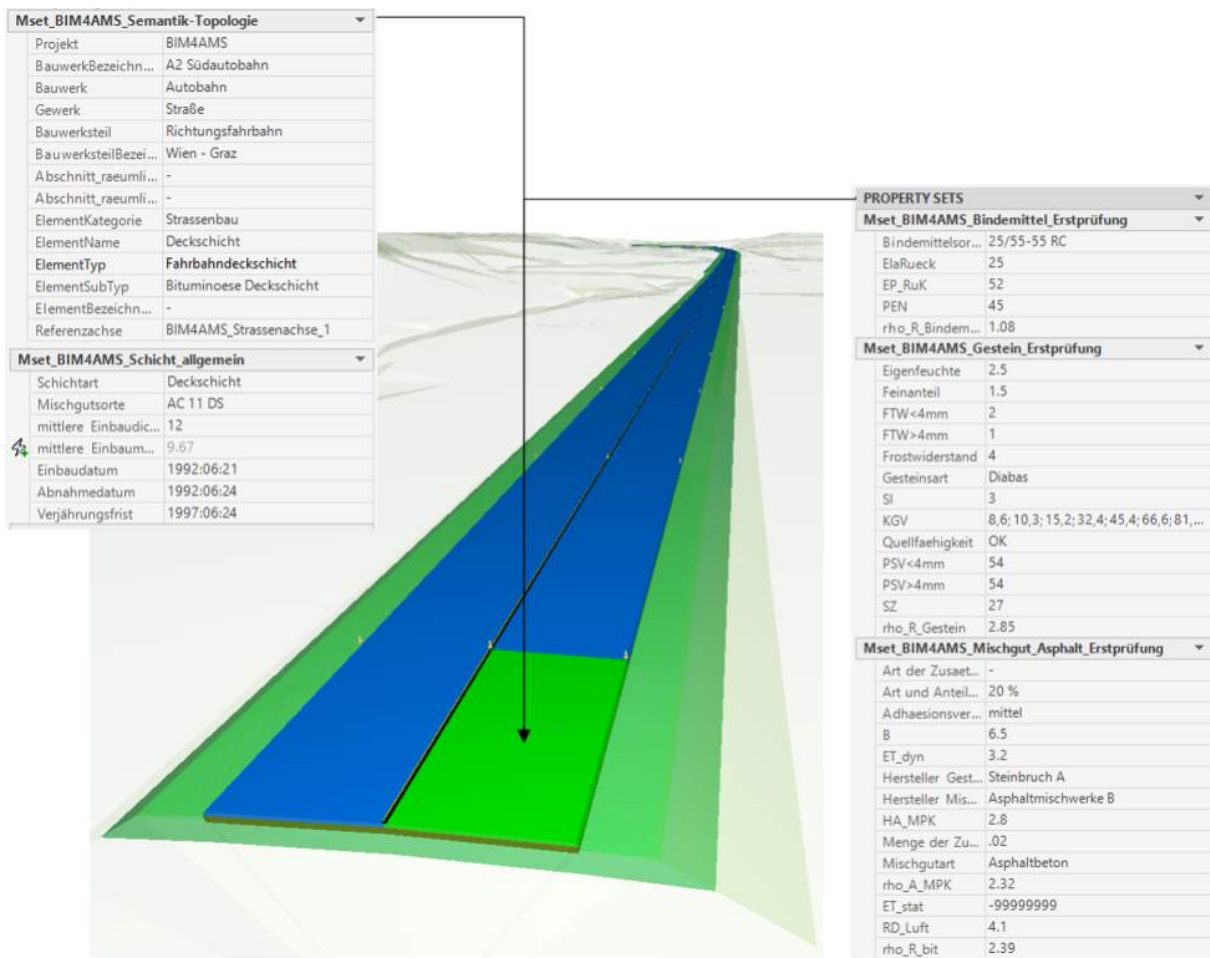


Abbildung 4-17: Modellelemente des Fahrbahnaufbaus mit angehefteten Eigenschaftssätzen

Zusätzlich zu den baulichen Elementen wurden an der Fahrbahnoberfläche virtuelle Schichten als Informationsträger für die Zustandserfassung und die Maßnahmenplanung modelliert. Die virtuellen Schichten für die Maßnahmenplanung weisen eine Länge von ca. 400 m auf (Abbildung 4-18).

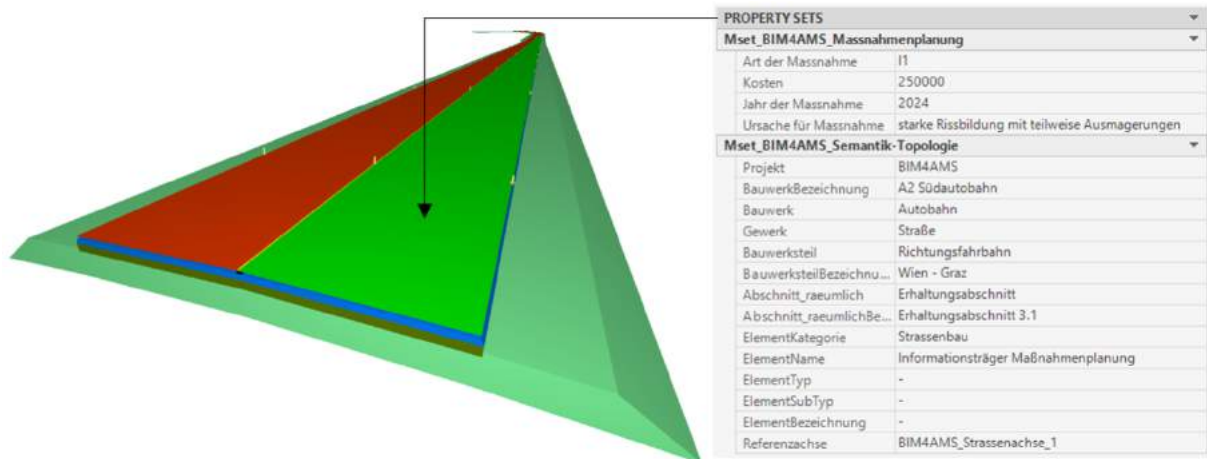


Abbildung 4-18: Virtuelle Schichten als Informationsträger für die Maßnahmenplanung

Die Granularität der virtuellen Schichten für die Zustandserfassung ist identisch mit jener des Fahrbahnaufbaus (Abbildung 4-19).

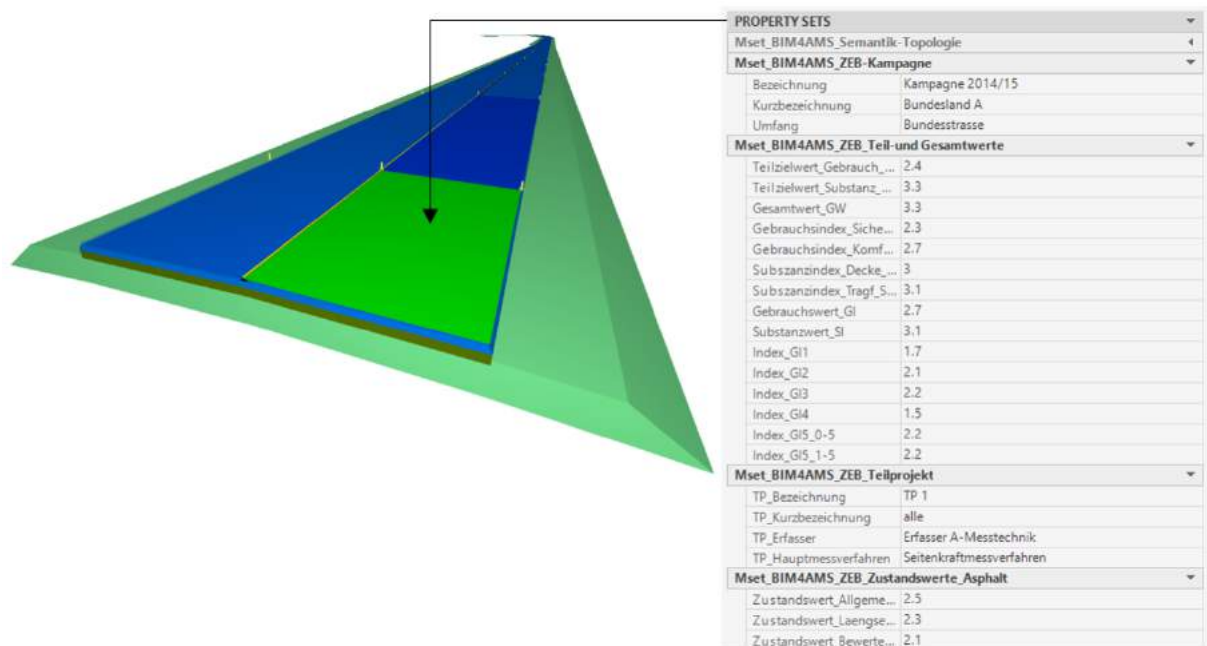


Abbildung 4-19: Virtuelle Schichten als Informationsträger für die Zustandserfassung

Zusammenfassung Aufbau/Granularität und Modellgliederung Bauwerksmodell inkl. Abbildung der Fachdaten und Informationen

(1) Aufbau und Granularität Bauwerksmodell

- a. Modellierung der baulichen Elemente der Straßenschicht getrennt nach den jeweiligen Schichten (Deckschicht, Tragschicht, Frostschutzschicht),
- b. getrennt für jeden Fahrstreifen und
- c. in Abschnittslängen von 20 m in Achsrichtung.
- d. Modellierung von virtuellen Schichten zur Abbildung der Zustandsbeurteilung,
- e. getrennt für jeden Fahrstreifen und
- f. in Abschnittslängen von 20 m in Achsrichtung analog zur Granularität der baulichen Elemente.
- g. Modellierung von virtuellen Schichten zur Abbildung der Maßnahmenplanung,
- h. getrennt für jeden Fahrstreifen und
- i. in Abschnittslängen von 400 m in Achsrichtung

(2) Modellgliederung Bauwerksmodell

- a. Bestandsmodell (Ausgangsmodell), bestehend aus
 - Modell der Straßenachse und der linearen Referenzierung
 - Modell der baulichen Elemente der Straße
 - Modelle der Bohrkerne
 - Geländemodell
- b. Modell der Zustandsbeurteilung; dieses enthält nur virtuelle Schichten zur Abbildung der Zustandsbeurteilung
- c. Modell der Maßnahmenplanung; dieses enthält nur virtuelle Schichten zur Abbildung der Maßnahmenplanung
- d. Bestandsmodell nach Umsetzung der Maßnahmen (update III)
 - Modell der baulichen Elemente, die neu hergestellt wurden
 - Bestandsmodell (Ausgangsmodell) inkl. Kennzeichnung der baulichen Elemente, die abgebrochen wurden.

(3) Abbildung Fachdaten und Informationen

- a. Update I (Zustandsbeurteilung)
Je Element einer virtuellen Schicht (Länge 20 m): Merkmale zur Topologie und Semantik, Merkmale zu ZEB (Kampagne, Teilprojekt, Teil- und Gesamtwerte, Zustandswerte)



b. Update II (Massnahmenplanung)

Je Element einer virtuellen Schicht: Merkmale zur Topologie und Semantik, und
Merkmale der Maßnahmenplanung

c. Update III (Bestandsmodelle)

Je bauliches Element (Straßenschicht)

- Merkmale zur linearen Referenzierung (allgemeine Merkmale, länderspezifische Merkmale)
- Merkmale zum Schichtaufbau
- Merkmale zur Topologie und Semantik
- Merkmale zur Materialprüfung (baustofftechnische Daten)

Je Bohrkern

- Merkmale zur Topologie und Semantik
- Merkmale zur linearen Referenzierung

4.4.2 Nutzung von Informationscontainern -

Die Entwicklung des Informationscontainers kann bis zum „Constructive Objects and the Intergration of Processes and Systems“ (COINS) von 2009 zurückverfolgen, womit eine Integration von dokumentorientierten Informationen mit objektorientierten Informationen ermöglicht. Durch die Standardisierung wurde es von ISO 21597 zu „Information Container for linked Document Delivery“ (ICDD) ersetzt. Neben IFC-Modellen können Informationscontainer auch andere Dokumente enthalten, so dass das Erfassen und den Austausch von ontologiebasierten Daten, IFC-Modellen und weiteren Dokumenten ermöglicht ist. Der Zweck eines Informationscontainers ist die Unterstützung eines ganzheitlichen Datenaustauschs mit strukturierten Daten. Entsprechend dem Bedarf aus der Baupraxis kann der ICDD mehrere miteinander verknüpfte Dokumente als ein einziges Informationspaket umfassen. Die Dokumente können in verschiedenen Datenformaten gespeichert sein. Die gespeicherten Dateien werden mit Meta-Information in Hinsicht auf Datum, Autor usw. in den Informationscontainer beschrieben. Weiterhin wird die Verknüpfung der Informationen zwischen den gesammelten Daten unterstützt. Generell besteht ein ICDD aus vier Komponenten (siehe Abbildung 4-20)

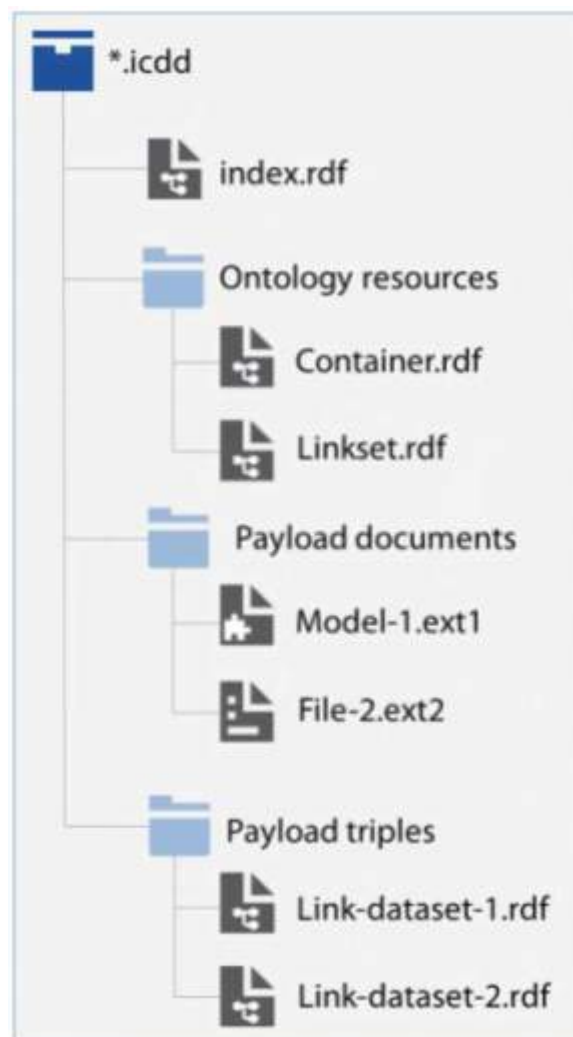


Abbildung 4-20: Komponenten eines Informationscontainer ICDD in Hagedorn (2018)

- In der Datei Index.rdf wird der Container mit seinen enthaltenen Dokumenten deklariert.
- Im Ordner Ontology resources werden die Ontologien gespeichert. Die Dateien Container.rdf und Linkset.rdf stellen Klassen und Properties für die Spezifikation und Verknüpfung der Dokumente innerhalb des Containers bereit. Diese beiden Dateien sollten immer vorhanden sein.
- Im Ordner Payload documents werden spezifische Dokumente gespeichert. Für eine klare Struktur können Unterordner für weitere Dokumente angelegt werden.
- Im Ordner Payload triples werden Links in eine oder mehrere Linkset-Dateien gespeichert.

4.4.3 Verknüpfung und Austausch von Information mittels ICDD

Der Inhalt eines Informationscontainers hängt vom jeweiligen Anwendungsfall ab. Für die drei Anwendungsfälle kann zunächst ein allgemeiner Prozessablauf hinsichtlich des Datenaustausches entwickelt werden (siehe Abbildung 4-21).

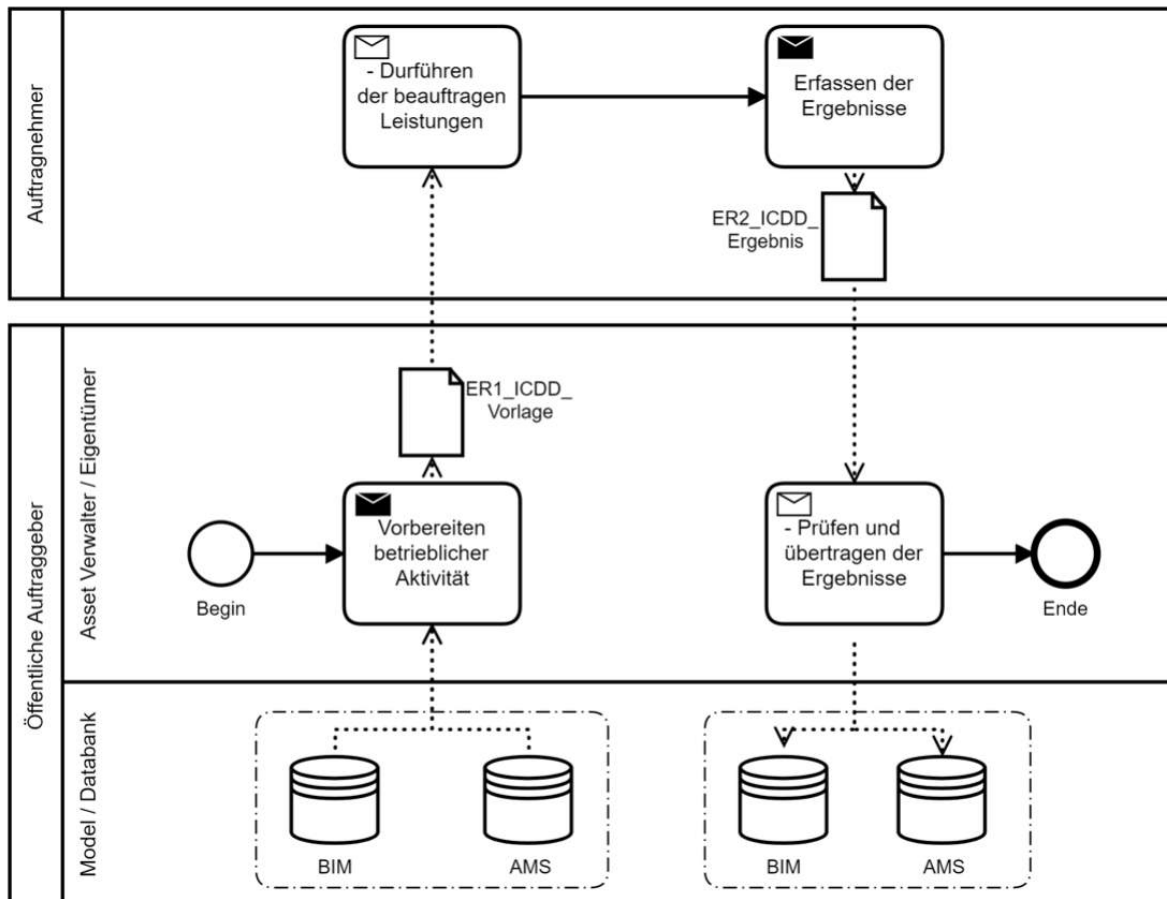


Abbildung 4-21: Allgemeines Prozessmodell hinsichtlich des Datenaustauschs

Die notwendigen Informationen werden vom Besteller zur Verfügung gestellt. Dies erfolgt mit Hilfe eines Informationscontainers „ER1_ICDD_Vorlage“, der auch Anforderungen für die Lieferung der Ergebnisse enthält. Nach Durchführung der beauftragten Leistungen werden die Ergebnisse mittels Informationscontainer erfasst und dieser an den Besteller übergeben. Nach Überprüfung auf Vollständigkeit und der syntaktischen Korrektheit können die Informationen aus dem Container schließlich in bestehende Datenbanken importiert werden. Im Folgenden werden die Inhalte der Vorlage-Container und der Ergebnis-Container für die Anwendungsfälle, die häufig in der Betriebsphase ausgeführt werden, vorgestellt. Der dargestellte Inhalt der Informationscontainern sind Empfehlung zur Datenaustausch und

Verknüpfung des jeweiligen Anwendungsfalls. Dies umfasst eine schematische Darstellung der Verknüpfungen zwischen den Daten innerhalb des Containers.

4.4.4 ICDD für die Zustandserfassung und -bewertung

Der Zustand der Fahrbahnoberfläche ist entscheidend für eine sichere Befahrbarkeit von Straßen. Es werden Ebenheit, Griffigkeit, Oberflächenschäden der Fahrbahn sowie Informationen zur strukturellen Substanz der darunterliegenden Schichten zur Beurteilung eines Straßenbauwerks erfasst. Zur Ermittlung der Zustandswerte, werden Rohdaten mit unterschiedlicher Messtechnik, z. B. Lasertechnik, Kameras, bei Inspektionsfahrten aufgenommen. Nach der Auswertung der Rohdaten wird der Fahrbahnzustand bestimmt. Für diesen Anwendungsfall, werden zwei ICDD erstellt (siehe Abbildung 4-22). Der Inhalt des Vorlage-ICDD ist in der linken Tabelle dargestellt, welche auch die notwendige Ontologie für die Erfassung des Fahrbahnzustands liefert. In dem Ergebnis-ICDD (siehe rechte Tabelle) werden die ausgewerteten Zustandswerte als semantische Information erfasst und mit entsprechenden Modellelementen verknüpft.

| Informationsanforderungen ICDD | | |
|--------------------------------|-----------------------|-------------|
| Name: | Fahrbahn Zustand | |
| Identifier: | ER1_ICDD_Vorlage | |
| Description: | Name | Type |
| Index: | | |
| | Index.rdf | rdf |
| Ontology Resources: | | |
| | Container.rdf | rdf |
| | LinkSet.rdf | rdf |
| | EUROTL.rdf | rdf |
| | BaustoffDaten.rdf | rdf |
| Payload Documents: | | |
| | FahrbahnModel.ifc | ifc |
| | Fahrbahnabschnitt.ifc | ifc |
| Payload triples: | | |
| | | |
| | | |

| Informationsanforderungen ICDD | | |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------|
| Name: | Fahrbahn Zustand | |
| Identifier: | ER2_ICDD_Ergebnis | |
| Description: | Name | Type |
| Index: | | |
| | Index.rdf | rdf |
| Ontology Resources: | | |
| | Container.rdf | rdf |
| | LinkSet.rdf | rdf |
| | EUROTL.rdf | rdf |
| | BaustoffDaten.rdf | rdf |
| Payload Documents: | | |
| | FahrbahnModel.ifc | ifc |
| | Fahrbahnabschnitt.ifc | ifc |
| Payload triples: | | |
| | EUROTL2Zustandswerte.rdf | rdf |
| | IFCAbschnitt2OTLZustand.rdf | rdf |
| | | |

Abbildung 4-22: Übersicht der ICDD-Inhalt für Zustandserfassung und -bewertung

Ontology Resources

Neben den Standard-Ontologien Container.rdf und LinkSet.rdf werden domain-spezifische Ontologie verwendet.

EUROTL.rdf bietet Basis-Klassen für die Erfassung von Meta-Information zur Inspektion und der topologischen Definition eines Straßenabschnitts.



BaustoffDaten.rdf ist die Ontologie zu baustofftechnischen Merkmalen. Die beinhalteten Klassen werden im Kapitel 4.3.3 vorgestellt. Diese Ontologie bietet Klassen zur Erfassung der ermittelten Zustandswerten der Fahrbahn bzw. des jeweiligen Fahrbahnabschnitts.

Payload Documents

FahrbahnModel.ifc stellt das wie-gebaut-Model des Straßenabschnitts im IFC-Format dar. In dem Model sollten nur die Inspektion-relevanten Elemente und Informationen beinhaltet sein. Eine zusätzliches Teilmodel im IFC-Format wird für die Lokalisierung der Zustandswerte verwendet.

Fahrbahnabschnitt.ifc ist ein zusätzliches Teilmodell, in dem die Fahrbahn in Abschnitte aufgeteilt wird, um die Zustandswerte auf den entsprechend Abschnitt zu verknüpfen.

Payload Triples

EUROTL2Zustandswerte.rdf beinhalten alle Information zur Inspektion und die Zustandswerte des jeweiligen Fahrbahnabschnitts sowie die Verknüpfungen des Zustandswerte mit den topologischen Objekten des Fahrbahnabschnitts. Diese Informationen werden als Instanzen auf Basis der Ontologien EUROTL und BaustoffDaten erfasst.

IFCAbschnitt2OTLZustand.rdf beinhalten die Verknüpfungen zwischen den topologischen Objekten als Instanzen von EUROTL and einzelnen IFC-Elementen der Fahrbahnabschnitt.ifc. Eine grafische Übersicht zum Containerinhalt sowie die enthaltenden Verknüpfungen ist in Abbildung 4-23 dargestellt.

4.4.5 ICDD für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen

Auf Basis des aktuellen Fahrbahnzustands sowie weiterer Informationen kann ein Erhaltungs- bzw. Bauprogramm erstellt werden. Das Erhaltungsprogramm beinhaltet Informationen über die geplante Maßnahmenart, den Ausführungszeitpunkt sowie die geschätzten Kosten in Bezug auf den entsprechenden Straßenabschnitt. Für diesen Anwendungsfall, werden zwei ICDD erstellt (siehe Abbildung 4-23). Der Inhalt des Vorlage-ICDD ist in der linken Tabelle dargestellt, welche die notwendige Ontologie für die Erfassung der Erhaltungsplanung umfasst. Die Daten zum Fahrbahnzustand müssen an den Bereitsteller übergeben werden. Der Ergebnis-ICDD beinhaltet den ausgearbeiteten Erhaltungsmaßnahmen als semantische Information, der mit den entsprechenden Fahrbahnabschnitten verknüpft ist.

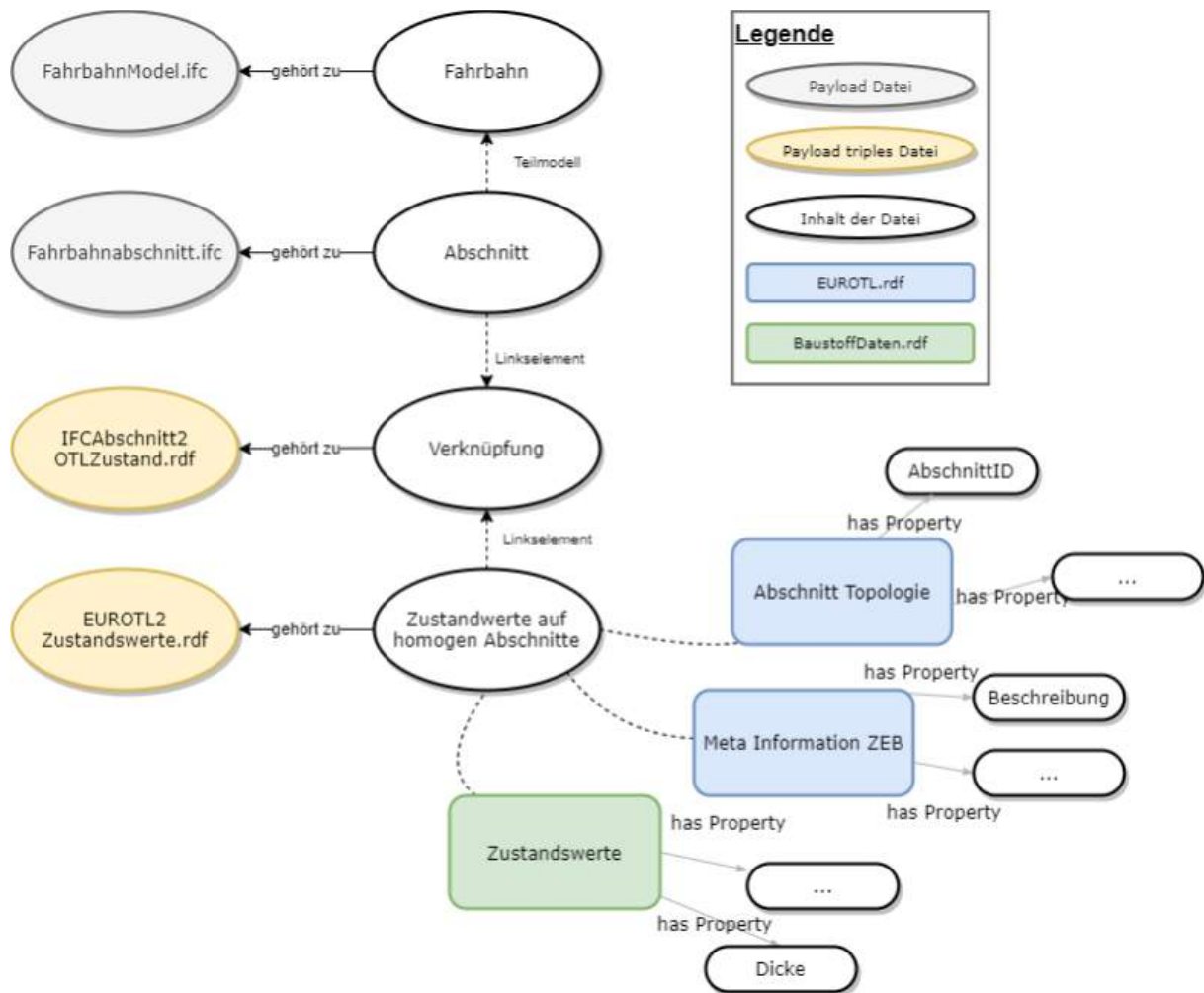


Abbildung 4-23: Schematische Darstellung zu Inhalt und Verknüpfungen ICDD-Fahrbahnzustand

Ontology Resources

Neben den Standard-Ontologien Container.rdf und LinkSet.rdf werden die Ontologien EUROTL.rdf und Erhaltungsmaßnahme.rdf angewendet. EUROTL.rdf bietet Basis-Klassen für die Erfassung von Meta-Information zur Inspektion und der topologischen Definition eines Straßenabschnitts. Erhaltungsmaßnahme.rdf ist die Ontologie für die Erfassung von Detailinformationen des Erhaltungsprogramms. Die Definition und die beinhalteten Klassen werden im Kapitel 4.3.3 vorgestellt.

| Informationsanforderungen ICDD | | | Informationsanforderungen ICDD | | |
|--------------------------------|-------------------------|------|--------------------------------|-------------------------------|------|
| Name: | Fahrbahn Erhaltungsplan | | Name: | Fahrbahn Erhaltungsplan | |
| Identifier: | ER1_ICDD_Vorlage | | Identifier: | ER2_ICDD_Ergebnis | |
| Description: | Name | Type | Description: | Name | Type |
| Index: | | | Index: | | |
| | Index.rdf | rdf | | Index.rdf | rdf |
| Ontology Resources: | | | Ontology Resources: | | |
| | Container.rdf | rdf | | Container.rdf | rdf |
| | LinkSet.rdf | rdf | | LinkSet.rdf | rdf |
| | EUROTL.rdf | rdf | | EUROTL.rdf | rdf |
| | Erhaltungsmassnahme.rdf | rdf | | Erhaltungsmassnahme.rdf | rdf |
| | | | | | |
| Payload Documents: | | | Payload Documents: | | |
| | FahrbahnModel.ifc | ifc | | FahrbahnModel.ifc | ifc |
| | Fahrbahnabschnitt.ifc | ifc | | Fahrbahnabschnitt.ifc | ifc |
| | | | | | |
| Payload triples: | | | Payload triples: | | |
| | | | | EUROTL2Erhaltungsplan.rdf | rdf |
| | | | | IFCAbschnitt2OTLErhaltung.rdf | rdf |
| | | | | | |

Abbildung 4-24: Übersicht der ICDD-Inhalt für Fahrbahn Erhaltungsplan

Payload Documents

FahrbahnModel.ifc stellt das wie-gebaut-Modell des Straßenabschnitts im IFC-Format dar. Das Modell sollte nur die inspektionsrelevanten Elemente und Informationen beinhalten. Ein zusätzliches Teilmodell im IFC-Format wird für die Lokalisierung der Zustandswerte verwendet. Fahrbahnabschnitt.ifc ist das zusätzliche Teilmodell, in dem die Fahrbahnoberfläche in Abschnitte aufgeteilt wird. Jede geplante Maßnahme aus dem Erhaltungsplan kann entsprechend mit einem oder mehreren Abschnitten verknüpft werden.

Payload Triples

EUROTL2Erhaltungsplan.rdf beinhalten alle Meta-Information des Erhaltungsprogramms. Diese Informationen werden als Instanzen der EUROTL und der Erhaltungsmaßnahme-Ontologie erfasst. IFCAbschnitt2OTLErhaltung.rdf beinhaltet die Verknüpfungen zwischen den topologischen Objekten als Instanzen von EUROTL und den IFC-Elementen des Fahrbahnabschnitt.ifc. Eine grafische Übersicht zum Containerinhalt sowie die enthaltenden Verknüpfungen ist in Abbildung 4-25 dargestellt.



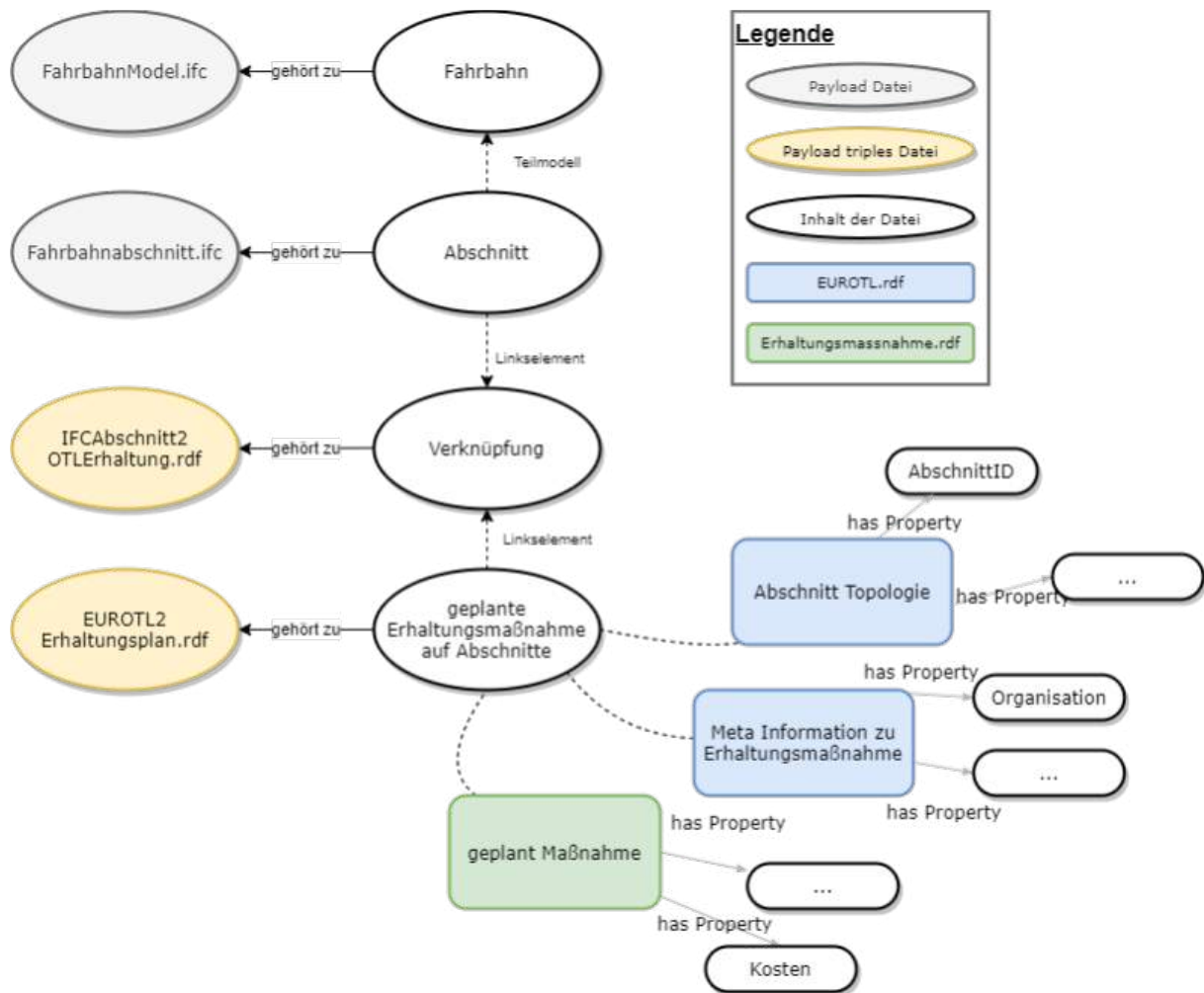


Abbildung 4-25: Schematische Darstellung zu Inhalt und Verknüpfungen ICDD- Fahrbahn

4.4.6 ICDD für die Dokumentation von Erhaltungsmaßnahmen

Auf Basis eines Erhaltungs- bzw. Bauprogramms können einzelne Erhaltungsmaßnahmen umgesetzt werden. Eine Erhaltungsmaßnahme beinhaltet Informationen zur geplanten Maßnahmenart, den Zeitpunkt der Durchführung und die Kosten in Bezug auf den entsprechenden Straßenabschnitt. Eine Erhaltungsmaßnahme führt auch zu einem neuen As-built-Modell. Die Integration des neuen Straßenabschnittes stellt eine Herausforderung dar. Im Rahmen des Projektes wird folgender Ansatz verwendet:

- Das alte As-built Modell wird geometrisch geteilt, d. h. für den Erhaltungsabschnitt existieren eigenständige Modellobjekte mit identischen Eigenschaften wie zuvor.
- Das Ergebnis der Erhaltungsmaßnahme im Bereich des Erhaltungsabschnitts wird als neues As-built-Modell zur Verfügung gestellt.



Analog zu den anderen zwei Anwendungsfällen werden zwei ICDD erstellt (siehe Abbildung 4-26). Die linke Tabelle stellt den Inhalt des Vorlage-ICDD dar, welcher die notwendige Ontologie für Erfassung der Daten von der Erhaltungsmaßnahme und der Materialeigenschaften von Prüfergebnissen in Form von Bohrkernen liefert. Im Ergebnis-ICDD (siehe rechte Tabelle) werden die Informationen zur Erhaltungsmaßname und den Bohrkernen als semantische Informationen im Container erfasst und mit den entsprechenden Fahrbahnabschnitten verknüpft.

| Informationsanforderungen ICDD | | | Informationsanforderungen ICDD | | |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Name: | Fahrbahn Sanierungsmaßnahme | | Name: | Fahrbahn Sanierungsmaßnahme | |
| Identifier: | ER1_ICDD_Vorlage | | Identifier: | ER2_ICDD_Ergebnis | |
| Description: | Name | Type | Description: | Name | Type |
| Index: | | | Index: | | |
| | Index.rdf | rdf | | Index.rdf | rdf |
| Ontology Resources: | | | Ontology Resources: | | |
| | Container.rdf | rdf | | Container.rdf | rdf |
| | LinkSet.rdf | rdf | | LinkSet.rdf | rdf |
| | EUROTL.rdf | rdf | | EUROTL.rdf | rdf |
| | BaustoffDaten.rdf | rdf | | BaustoffDaten.rdf | rdf |
| Payload Documents: | | | Payload Documents: | | |
| | FahrbahnModel.ifc | ifc | | FahrbahnModel.ifc | ifc |
| | Fahrbahnabschnitt.ifc | ifc | | Fahrbahnabschnitt.ifc | ifc |
| | | | | Bohrkerne.ifc | ifc |
| Payload triples: | | | Payload triples: | | |
| | | | | EUROTL2MassnahmeDatenBohrkern.rdf | rdf |
| | | | | IFCAbsKern2OTLMassnahme.rdf | rdf |

Abbildung 4-26: Übersicht der ICDD-Inhalt für Fahrbahn Erhaltungsmaßnahme

Ontology Resources

Neben den Standard-Ontologien Container.rdf und LinkSet.rdf werden die Ontologie EUROTL.rdf und Ontologie BaustoffDaten.rdf angewendet.

EUROTL.rdf bietet Klassen zur Erfassung von Information zur Erhaltungsmaßnahme, die topologische Definition des Straßenabschnitts und die Bohrkerne als physikalischen Objekte. BaustoffDaten.rdf ist die Ontologie zur Erfassung der Materialeigenschaften von Bohrkernen. Die Definition und die beinhalteten Klassen werden im Abschnitt 1.3.2 vorgestellt.

Payload Documents

FahrbahnModel.ifc stellt das As-built-Model im IFC-Format dar. Es wird nur eine Teilung von einzelnen Modellobjekten vorgenommen. Ansonsten werden keine Änderungen am Model vorgenommen. Ein zusätzliches Model für diehaltungsergebnisse wird im IFC-Format wird für die Lokalisierung der Erhaltungsmaßnahme verwendet.

Fahrbahnabschnitt.ifc ist das zusätzlichen As-built-Model, welches den sanierten Abschnitt darstellt. Die durchgeführte Maßnahme wird mit diesem Abschnitt verknüpft.



Bohrkern.ifc ist ein weiteres Fachmodell, in dem die Bohrkerne für die Abnahmeprüfung abgebildet werden. Die geprüften Materialeigenschaften können entsprechend mit den Bohrkerne verknüpft werden.

Payload Triples

EUROTL2MaßnahmeDatenBohrkern.rdf beinhalten alle Daten von der Erhaltungsmaßnahme über die geprüften Materialeigenschaften der Bohrkerne bis hin zu den Verknüpfungen der Maßnahme mit den Fahrbahnabschnitten und den Verknüpfungen mit den Materialeigenschaften der Bohrkerne. Diese Informationen werden als Instanzen der Ontologien EUROTL and BaustoffDaten erfasst. IFCAbsKern2OTLMaßnahme.rdf beinhalten die Verknüpfungen zwischen den topologischen Objekten als Instanzen der EUROTL und den Elementen von Fahrbahnabschnitt.ifc bzw. den Bohrkerne von Bohrkern.ifc. Eine grafische Übersicht zum Containerinhalt sowie die enthaltenden Verknüpfungen ist in Abbildung 4-27 dargestellt.

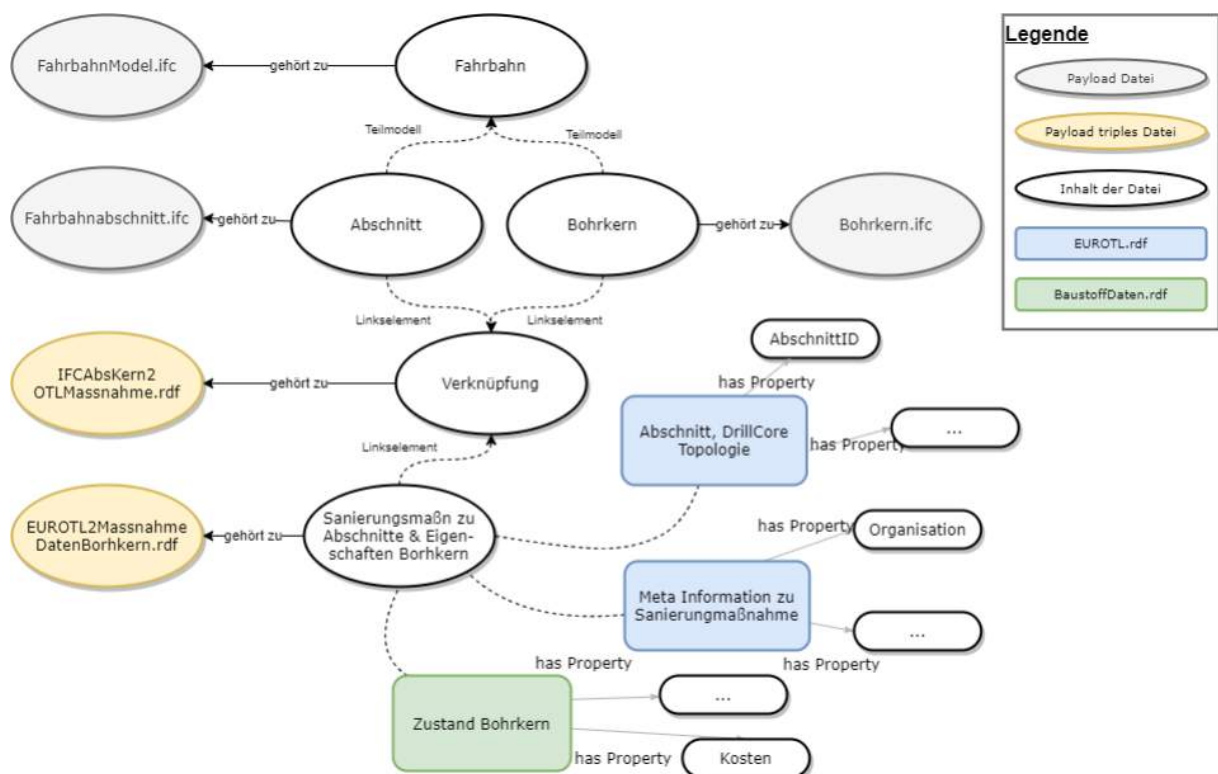


Abbildung 4-27: Schematische Darstellung zu Inhalt und Verknüpfungen ICDD- Fahrbahn

Nach einer Erhaltungsmaßnahme ist i.d.R. eine geometrische Änderung bzw. Anpassung des Straßenmodells notwendig. Ein Konzept zur Verwaltung der Straßenmodelle in Verbindung



mit den semantischen Informationen als Dokumentation von Erhaltungsmaßnahmen bzw. die Abbildung von As-Is Modell ist in Kapitel 5.4 enthalten.

4.5 Filterung und Aggregation von Informationen

4.5.1 Definition der Anwendung von Filterung und Aggregation

In einem AMS liegen über den gesamten Prozessablauf sehr viele detaillierte Daten vor, die aber für die verschiedenen Aufgaben im Ablauf des Lebenszyklus nicht zwangsläufig alle als Eingangsgrößen in verschiedene Berechnungen und Auswertungen benötigt werden. Damit stellt sich die Frage nach dem tatsächlichen Informationsbedarf in den verschiedenen Prozessschritten. In der Folge müssen daher für die Übergabe die im Container vorhandenen Daten gefiltert und erforderlichenfalls aggregiert werden. Entscheidend bei der Filterung und Aggregation ist, dass stets ein Rückgriff auf die Basisdaten möglich ist, um bei Bedarf eine Absicherung für Qualitätskontrollen der in der Regel ingenieurtechnischen Auswertungen in einem AMS zu gewährleisten. In diesem Kontext wird unter Filterung die Auswahl der relevanten Eingangsdaten für einen weiteren Auswerteprozess verstanden, unter Aggregation die Zusammenfassung von Einzeldaten zu einem i.d.R. repräsentativen Kennwert, möglicherweise für ein größeres Teilnetz. Grundsätzlich sollten die damit verbundenen Filterungs- und Aggregierungsvorgänge in einem AMS vergleichsweise einfach definierbar sein. Die verschiedenen ingenieurtechnischen Aufgaben und die dazu notwendigen Eingangsdaten sind bekannt und in der Prozessanalyse hinterlegt. Insofern kann der Bedarf für die Filterung und Aggregation von Daten genau aus diesen Anforderungen abgeleitet werden. Allerdings besteht dabei ein Abgrenzungsproblem: Beispielsweise werden im deutschen PMS die Basisdaten einer Datenaufbereitung und -zusammenfassung unterzogen, um einen nutzbaren Eingangsdatensatz für das PMS zu erzielen. Dies erfolgt durch die Software PMS-I/O, mit der sowohl eine Substanzbewertung als auch die Ermittlung relevanter homogener Abschnitte samt repräsentativer Kennzahlen erfolgt.

Grundsätzlich sollten die bestehenden Analyseprozesse, welche bereits in den bestehenden AMS-Tools zur Verfügung stehen, weiter genutzt und sollen hier nicht ersetzt werden. Es kann aber von Vorteil sein, bei einem Datenaustausch die vorhandenen Daten zu analysieren und dabei eine Aggregation über eine definierte Anzahl von Fahrbahnobjekten durchzuführen. Aus diesem Grund werden auch beispielhaft Aggregationen dargestellt. In der Beschreibung wird versucht eine Abgrenzung vorzunehmen und verschiedene Fälle entsprechend den Updates I bis III gemäß dem Referenzprozess zu definieren. Mit Hilfe der Filterungs- und



Aggregationskonzepte sollen relevante Datenabfragen und -aggregationen der Nutzenden erfüllt werden.

Es können folgende Filterungsfälle gemäß Tabelle 4-1 benannt werden. Voraussetzung ist, dass ein initiales Modell vorliegt und die jeweiligen Updates erfolgt sind.

Tabelle 4-1: Filterungs- und Aggregationsfälle

| Nr. | Update | Filterungsfälle | Daten |
|-------|--------|---|--|
| I-1 | I | Daten zum Oberflächenzustand | Zustandsklassen; Einzelwerte, Teilwerte und Gesamtwert |
| I-1a | I | Verknüpfung der Oberflächenmerkmale | Zustandsklassen; Einzelwerte (für die Schweiz) |
| I-1b | I | Aggregation der Zustandsdaten | Zustandsklassen; Einzelwerte, Teilwerte und Gesamtwert |
| I-2 | I | Daten zum strukturellen Zustand | Schichtart, Liegezeit, Schichtmerkmale, strukturelle Bewertung |
| I-3 | I | Objektbezogene Schadensansprache | Einzelwerte, Bilddaten, vorhandene Materialuntersuchungen |
| I-4 | I | Abfrage von Abschnitten nach Zustand | Zustandsklassen |
| I-5 | I | Abfrage von Abschnitten nach Fahrtrichtung | Zustandswerte oder Zustandsklassen |
| I-6 | I | Abfrage von Abschnitten nach Fahrstreifen | Zustandswerte oder Zustandsklassen |
| II-1 | II | Abfrage von Abschnitten mit Erhaltungsmaßnahmen, Gesamt | Maßnahmenart, Maßnahmenlage, geschätzte Kosten |
| II-2 | II | Abfrage von Abschnitten mit Erhaltungsmaßnahmen, Jahr | Maßnahmenart, Maßnahmenlage, geschätzte Kosten für ein bestimmtes Planungsjahr |
| II-3 | II | Abfrage in einem definierten Erhaltungsabschnitt | Maßgebende Einzelmerkmale, Teilwerte und Gesamtwert, strukturelle Bewertung, Orthophotos |
| II-4 | II | Abfrage in einem definierten Erhaltungsabschnitt nach Erhaltungsmaßnahmen, Jahr | Maßnahmenart, Maßnahmenlage, geschätzte Kosten für ein bestimmtes Planungsjahr |
| III-1 | III | Durchgeführte Maßnahmen | Netzweit durchgeführte Maßnahmen in einem Bezugszeitraum |
| III-2 | III | Bauabschnitt | Eingebaute Anlagenbestandteile, zugehörige Materialkennndaten, Zustand bei Abnahme |

Die Anwendungsbereiche für die genannten Filterungsfälle lassen sich wie folgt begründen:

Fall I-1: Als wesentliche netzweite Information soll ein einfacher Überblick zu beispielsweise Zustandsklassen und deren Verteilung in einem Teilnetz oder im Gesamtnetz vorliegen. Dies kann verschiedene Merkmalsgruppen umfassen.



Fall I-1a: Es wird gezeigt, wie eine Verknüpfung von Oberflächenmerkmalen zu Gesamtwerten durchgeführt wird. Dies ist für die Schweiz relevant. In Deutschland und Österreich werden diese Werte durch externe Softwaretools ermittelt und im Rahmen der Zustandsdaten in den Datenbanken geführt.

Fall I-1b: Es wird gezeigt, wie die Zustandsdaten verschiedener definierter (in der Regel benachbarter) Fahrbahnabschnitte aggregiert werden. Dies kann in Längsrichtung (z.B. für einen längeren Fahrstreifenabschnitt) und bzw. oder in Querrichtung (z.B. für eine Zusammenfassung zu einem Richtungsfahrbahnabschnitt) erfolgen.

Fall I-2: Es wird gezeigt, wie der strukturelle Zustand von Abschnitten bis hin zu einem Gesamtnetz vorliegt. Dazu wird zunächst auf die Bewertungsergebnisse zurückgegriffen. Ein weiterer damit verknüpfter Anwendungsfall ist denkbar, wenn die Eingangsdaten für die ingenieurtechnische Bewertung des strukturellen Zustandes einer Fahrbahn benötigt werden.

Fall I-3: Für eine konkrete objektbezogene Bewertung, beispielsweise bei der Maßnahmenplanung, ist es notwendig, alle relevanten Daten für die Schadensansprache zu haben. Daher werden die Merkmale gefiltert, die dazu notwendig sind, also alle entsprechenden schichtbezogenen Daten, die Daten aus der ZEB aus der virtuellen Schicht inklusive der Bilddaten/Orthophotos, die schichtbezogenen Daten und Ergebnisse zerstörender Untersuchungen wie beispielsweise Bohrkerne.

Fälle I-4 bis I-6: Diese Fälle sind vergleichbar zu I-1, allerdings geht es hier um Teilbereiche wie Abschnitte, Fahrbahnen oder einzelne Fahrstreifen. Hier wären die Bewertungen aus dem Oberflächenzustand sowie aus der strukturellen Bewertung von Bedeutung. Damit können Daten für relevante Teilbereiche wie ein Netzknotenabschnitt, eine Richtungsfahrbahn bei zweibahnigen Querschnitten oder einzelne Fahrstreifen gefiltert werden.

Fälle II-1 und II-2: In vielen Fällen ist es sinnvoll, einen Überblick zu den Erhaltungsmaßnahmen in einem Teilnetz oder im Gesamtnetz zu erzeugen, gefiltert nach einem definierten Planungszeitraum (mehrere Jahre) oder nach Maßnahmen innerhalb eines Jahres.

Fall II-3 und II-4: Für die tatsächliche Maßnahmenvorbereitung ist es wichtig, den Planenden nicht nur die Art und Ausdehnung der Maßnahme zur Verfügung zu stellen, sondern auch alle abschnittsbezogenen Daten zu Zustand und Materialeigenschaften. Je nach dem wird entschieden, welche Zusatzuntersuchungen im Rahmen der Bauvorbereitung durchzuführen sind. Die Zusatzuntersuchungen werden derzeit nicht als Update aufgenommen, wenn die Maßnahme durchgeführt wird.

Fall III-1: Es sollte die Veränderung gezeigt werden können, was ist mit welchen Eigenschaften neu hinzugekommen ist (Beispiel Asphaltbauweise Deck- und Binderschicht mit relevanten Materialeigenschaften). Zudem könnte darüber hinaus ein Überblick über ausgeführte Maßnahmen in einem relevanten Bezugszeitraum erzeugt werden.

Voraussetzung für die Anwendung der Filterungs- und Aggregationskonzepte sind das Vorliegen eines initial befüllten Modells, das um die jeweiligen Updates aufgefüllt ist.

4.5.2 Filterungs- und Aggregationsfälle für Update I

Das Update I wird für den Austausch der erfassten Zustandsdaten genutzt. Der Informationscontainer enthält das relevante Inventar des zu erhebenden Straßennetzes – im Fallbeispiel der definierte Straßenabschnitt. Der Zustandserfasser wird die gemessenen und auf das Inventar voraggregierten Zustandsdaten in den Container übertragen. Bei der Aggregation durch den Zustandserfasser werden die georeferenzierten Messdaten auf die vorher definierten Auswerteabschnitte projiziert und anschliessend für die Berechnung der aggregierten Zustandsdaten der Auswerteabschnitte genutzt. Diese Daten werden vor einer Übertragung in die AMS-Datenbank geprüft und validiert. Zusätzlich sind stichprobenartige Abfragen im Informationscontainer von Interesse. Für den Fall I-1 können folgende Filterungsfälle relevant sein:

- Abfrage der Zustandsverteilung für alle/einzelne Zustandsmerkmale im gemessenen Netz
- Abfrage nach Abschnitten mit den schlechtesten/besten Zustandsmerkmalen im gesamten gemessenen Straßennetz

Für den Fall I-2 können folgende Filterungsfälle relevant sein:

- Abfrage nach der strukturellen Zustandsverteilung im gesamten Netz oder Teilnetz
- Abfrage nach den Eingangsdaten für die strukturelle Zustandsbewertung in einem oder in mehreren Abschnitten
- Abfrage nach Abschnitten mit den schlechtesten/besten strukturellen Zustand im gesamten gemessenen Straßennetz oder in Teilnetzen

Für den Fall I-3 können folgende Filterungsfälle relevant sein:

- Abfrage der einzelnen Zustandsdaten, der Orthophotos und der bautechnischen Daten im Abschnitt

Für die Fälle I-4 bis I 6 können folgende Filterungsfälle relevant sein:

- Abfrage nach Abschnitten in einer definierten Fahrtrichtung
- Abfrage nach Abschnitten für eine Richtungsfahrbahn
- Abfrage nach Abschnitten auf einem definierten Fahrstreifen



Neben der zustandsbezogenen Filterung der Daten sind zusätzlich verschiedene Aggregationen von Daten im Straßennetz von Bedeutung. Hierbei sollte einerseits eine definierte Anzahl von benachbarten Abschnitten zu einem Sektor zusammengefasst werden können. Andererseits sind je nach Umfang der Zustandserfassung, d.h. welche Zustandsmerkmale vom Erfasser erhoben werden, verschiedene Zustandsmerkmale zu Teil- bzw. Gesamtwerten relevant. Für die unterschiedlichen Varianten werden im Folgenden konkrete Abfragen mit Ergebnis aufgezeigt.






Abfrage Zustandsverteilung (Oberfläche) / Fall I-1

Für die Zustandsverteilung werden die Daten nach unterschiedlichen Zustandsklassen klassifiziert. Für das Fallbeispiel des Straßenstücks mit schweizerischen Daten erfolgt dies für die Zustandsmerkmale Oberflächenschäden (Index I0), Längsebenheit (Index I2), Querebenheit (Index I3) und Griffigkeit (Index I4). Hierbei wird die prozentuale Aufteilung der 100 m Abschnitte in die jeweiligen Bewertungsklassen aufgezeigt. Alle relevanten Daten – dies kann

- der gesamte Messparameter oder
- ein definierter Korridor daraus sein,
- eine definierte Fahrtrichtung oder ein Fahrstreifentyp betreffen,

im Fallbeispiel ist es ein ca. 1 km langer Straßenabschnitt – werden dabei in die Auswertung mit einbezogen. Die folgende Tabelle 4-2 zeigt dies für das Fallbeispiel des Straßenabschnitts in den vier vorhandenen Zustandsmerkmalen.

Tabelle 4-2: Zustandsverteilung der schweizerischen Fallbeispieldaten

| | | Index I0 | | Index I2 | | Index I3 | | Index I4 | |
|--------------------|---|----------|---------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| Zustand \ Jahr | | 2013 | 2017 | 2013 | 2017 | 2013 | 2017 | 2013 | 2017 |
| $0 \leq I0 < 1$ |  | 100.00% | 100.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 34.38% | 50.00% | 9.38% |
| $1 \leq I0 < 2$ |  | 0.00% | 0.00% | 9.38% | 18.75% | 0.00% | 21.88% | 46.88% | 62.50% |
| $2 \leq I0 < 3$ |  | 0.00% | 0.00% | 87.50% | 71.88% | 37.50% | 34.38% | 3.13% | 28.13% |
| $3 \leq I0 < 4$ |  | 0.00% | 0.00% | 3.13% | 9.38% | 62.50% | 9.38% | 0.00% | 0.00% |
| $4 \leq I0 \leq 5$ |  | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Summe | | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Mittelwert | | 0.15 | 0.21 | 2.39 | 2.42 | 3.12 | 1.80 | 1.09 | 1.68 |

Abfrage definierter Zustandsmerkmale (Oberfläche) / Fall I-1

Eine weitere Abfragevariante an einem mit Zustandsdaten befüllten Informationscontainer, die von Interesse der Nutzer ist, sind Abfragen nach einer definierten Zustandsgrösse (CH-Daten: Wert 1) bzw. Zustandswert (CH-Daten: Note) der unterschiedlichen Oberflächenmerkmale.



Der Nutzer definiert das Zustandsmerkmal mit der Bedingung (z.B. $I_2 > 3.0$) für welche die Abschnitte gefiltert werden sollen. Die relevanten Objekte werden auf einer Karte und in einer Ergebnistabelle Tabelle 4-3 mit allen aktuell vorhandenen Zustandsdaten angezeigt (vgl. Tabelle 4-2). Bei Bedarf wird zusätzlich die Abfrage der vorherigen Kampagne dieser Objekte ermöglicht.

Tabelle 4-3: Gefilterte Abschnitte nach $I_2 > 3.0$ in der Kampagne 2017

| ID | I0 2013 | I2 2013 | I3 2013 | I4 2013 | I0 2017 | I2 2017 | I3 2017 | I4 2017 |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 17 | 0.2 | 3.052 | 2.867 | 1.543 | 0.1 | 3.072 | 1.54 | 1.986 |
| 15 | 0.3 | 2.867 | 3.33 | 0.609 | 0.3 | 3.028 | 2.617 | 1.571 |
| 16 | 0.5 | 2.675 | 2.413 | 0.573 | 0.2 | 3.124 | 1.41 | 1.129 |






Verknüpfung der Oberflächenmerkmale zu einem Gesamtwert je Abschnitt / Fall I-1a

Die Bewertung des Zustands umfasst zusätzlich zur dimensionslosen Normierung der unterschiedlichen Zustandsgrößen zu Zustandswerten – hierbei ist zu beachten, dass der schweizerische Bewertungsmassstab von 0-5, der deutsch/österreichische von 1-5 reicht – eine Wertsynthese zu Teil- und Gesamtwerten durch eine unterschiedliche Gewichtung. In der Schweiz ist diese aktuell beim Bundesamt für Strassen ASTRA im Bereich der Nationalstrassen etwas vereinfacht durch folgende Formel umgesetzt:

$$IG = 0.1 \cdot I_0 + 0.3 \cdot I_2 + 0.3 \cdot I_3 + 0.3 \cdot I_4$$

Bei der Bildung des Gesamtwerts kann dies für definierte Abschnitte oder auch als Zustandsverteilung über das gemessene Netz dargestellt werden (vgl. Tabelle 4-4).

Tabelle 4-4: Zustandsverteilung des Gesamtwerts IG für betrachtete Abschnitte

| | | Index IG | |
|--------------------|---|----------|--------|
| Zustand \ Jahr | | 2013 | 2017 |
| $0 \leq IG < 1$ |  | 0.00% | 0.00% |
| $1 \leq IG < 2$ |  | 46.88% | 56.25% |
| $2 \leq IG < 3$ |  | 53.13% | 43.75% |
| $3 \leq IG < 4$ |  | 0.00% | 0.00% |
| $4 \leq IG \leq 5$ |  | 0.00% | 0.00% |
| Summe | | 1.00 | 1.00 |
| Mittelwert | | 2.00 | 1.79 |

Dabei ist zu beachten, dass die Wertsynthese in Österreich und in Deutschland Teil der Zustandsbewertung ist und somit im Informationscontainer bereits vorliegt. Hierbei würde

ausschliesslich eine Filterung der Fahrbahnobjekte für die einzelnen Zustandsklassen erfolgen.

Aggregation der Zustandsdaten (Oberfläche) für einen grösseren Abschnitt / Fall I-1b

Werden mehrere benachbarte Auswerteabschnitte (D: 100 m Abschnitte) zu einem grösseren Abschnitt zusammengefasst sind die Zustandsdaten unter Umständen zu aggregieren. Dies geschieht unter Verwendung einer definierten Funktion. Hierbei existieren mehrere Ansätze, welche durch den Nutzer definiert werden sollten. Folgende Aggregationen sind u.a. möglich:

- Arithmetisches Mittel
- Median
- Längengewichteter arithmetisches Mittel
- Flächengewichteter arithmetisches Mittel
- Gleitender Mittelwert
- Eliminierung der Ausreisser durch Bildung des arithmetischen Mittels im Sigma-Intervall
- Maximalwert
- andere

Die vorhandenen Zustandsdaten werden im definierten Aggregationsverfahren für einen gewählten, durch Anfang und Ende definierten, grösseren Abschnitt zusammengefasst.

Abfrage der strukturellen Daten (Fall I-2)

Ähnlich wie bei den Daten zum Oberflächenzustand sind auch Abfragen zum strukturellen Zustand notwendig. Dies wird am Beispiel des deutschen Modells aufgezeigt, wobei das in Österreich angewandte Bewertungsmodell Ähnlichkeiten aufweist. Die Daten beziehen sich jedoch nicht auf einen Auswerteabschnitt der ZEB, sondern auf längere Abschnitte mit gleichem Aufbau, i.d.R. die entsprechenden Einbauabschnitte. Dies kann sich je nach Datenlage auf die gesamte Fahrbahn oder auf einzelne Fahrstreifen beziehen. Aus den Daten müssen die relevanten Schichtinformationen wie Schichtenfolge, Schichtart, Einbaujahr, Ev2-Wert der obersten ungebundenen Tragschicht sowie die erforderliche Belastungsklasse ausgegeben werden. Ein Beispiel ist in Tabelle 4-6 angegeben. Eine weitere Abfrage kann die im Container hinterlegte strukturelle Bewertung sein. Dies kann für das Beispiel Deutschland als Substanzwert (Bestand) oder als errechnete Restlebensdauer auf der Basis von Materialkennwerten sein (vgl. Tabelle 4-5).

Tabelle 4-5: Gefilterte Abschnitte; Abfrage der strukturellen Bewertung (Deutschland)

| LFDID | STRKL | VON_NK_A | NACH_NK_A | STATION_E | FS_NR | TW_SUB | RND |
|--------------------|---------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| laufende ID-Nummer | Straßenklasse | von-Netzknoten am Abschnittsanfang | bis-Netzknoten am Abschnittsanfang | Stationierung am Abschnittsende | Fahrs treifen | Substanzwert Bestand | Restnutzungsdauer |
| 1 | A | 5406036A | 5306059A | 1700 | 2 | 1,76 | 15,20 |
| 2 | A | 5406036A | 5306059A | 4600 | 2 | 3,48 | 1,5 |
| 3 | A | 5406036A | 5306059A | 2500 | 2 | 1,76 | 17,00 |
| 4 | A | 5406036A | 5306059A | 6400 | 2 | 1,76 | 20,50 |
| 5 | A | 5406036A | 5306059A | 5400 | 2 | 4,05 | 1,0 |

Tabelle 4-6: Gefilterte Abschnitte; Abfrage der strukturellen Daten (Deutschland)

| | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------------|-----------|
| 5 A | 4 A | 3 A | 2 A | 1 A | laufende ID-Nummer | LFDID |
| 5A06036A | 4A06036A | 3A06036A | 2A06036A | 1A06036A | Straßenklasse | STRKL |
| 5A06036A | 4A06036A | 3A06036A | 2A06036A | 1A06036A | von-Netzknoten am Abschnittsanfang | VON_NK_A |
| 5A06059A | 4A06059A | 3A06059A | 2A06059A | 1A06059A | bis-Netzknoten am Abschnittsanfang | NACH_NK_A |
| 5400 | 6400 | 2500 | 4600 | 1700 | Stationierung am Abschnittsende | STATION_E |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | Fahrstreifen | FS_NR |
| 100 GA | 100 GA | 100 GA | 100 GA | 100 GA | Belastungsklasse | BK |
| 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | Art der Schicht 1 (Deckschicht) | ART1 |
| 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | Dicke der Schicht 1 (Deckschicht) | DICK1 |
| 2004 ABB | 2003 ABB | 2003 ABB | 2003 ABB | 2003 ABB | Baujahr der Schicht 1 (Deckschicht) | BJ1 |
| 14,0 | 9,0 | 9,0 | 14,0 | 9,0 | Art der Schicht 2 | ART2 |
| 14,0 | 9,0 | 9,0 | 14,0 | 9,0 | Dicke der Schicht 2 | DICK2 |
| 1975 TSGK | 2003 TSGK | 2003 TSGK | 1975 TSGK | 2003 TSGK | Baujahr der Schicht 2 | BJ2 |
| 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | Art der Schicht 3 | ART3 |
| 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | Dicke der Schicht 3 | DICK3 |
| 1975 ToB | 2003 ToB | 2003 ToB | 1975 ToB | 2003 ToB | Baujahr der Schicht 3 | BJ3 |
| 15,0 | 20,0 | 20,0 | 15,0 | 20,0 | Art der Schicht 4 | ART4 |
| 15,0 | 20,0 | 20,0 | 15,0 | 20,0 | Dicke der Schicht 4 | DICK4 |
| 1975 | 2003 | 2003 | 1975 | 2003 | Baujahr der Schicht 4 | BJ4 |
| 150 | 150 | 150 | 180 | 150 | EV2 | EV2 |



4.5.3 Filterungsfälle für Update II

Mit dem Update II werden die Ergebnisse der Erhaltungsplanung in den Container übernommen. Damit liegt ein Maßnahmenprogramm vor, aus dem für ein Netz oder ein Teilnetz die geplanten Maßnahmen nach Lage, Maßnahmenart, Maßnahmenkosten und voraussichtlicher Zeitpunkt der Maßnahmendurchführung hervorgeht. Damit sind folgende Abfragen denkbar:

- Übersicht über das geplante Maßnahmenprogramm für das Gesamtnetz über einen längeren Planungszeitraum, beispielsweise fünf Jahre.
- Übersicht über das geplante Maßnahmenprogramm im Gesamtnetz für ein spezifisches Planungsjahr
- Übersicht über ein Maßnahmenprogramm in relevanten Korridorbetrachtungen.

Relevante Informationen sind die räumliche Lage und der Zeitraum der Maßnahmen, um beispielsweise Verfügbarkeitsbetrachtungen im Netz machen zu können und die tatsächliche Durchführung der Maßnahmen besser koordinieren zu können. Koordinierungspotential ergibt sich zum einen aus verkehrstechnischen Gesichtspunkten und verkehrstechnisch optimierten Streckensperrungen. Zum anderen werden Maßnahmen an der Fahrbahn im optimalen Fall mit den Maßnahmen an anderen Anlagenteilen, beispielsweise Sanierung von Bauwerken oder Entwässerungseinrichtungen etc. koordiniert. Diese Koordinationsaufgaben werden i.d.R. für unterschiedliche Zeitpunkten von Jahresprogrammen bis hin zu längerfristigen Zeiträumen erbracht, was eine entsprechend zeitlich ausgerichtete Informationsgrundlage erfordert.

Abfrage Erhaltungsprogramm / Fall II-1

Die Daten umfassen die wesentlichen Informationen zum Erhaltungsprogramm und sollten tabellarisch als auch in einer Kartendarstellung räumlich visualisiert gefiltert werden. Eine Beispieltabelle für den Fall II-1 ist in Tabelle 4-8 dargestellt. Der Fall II-1 lässt sich daraus ableiten.

Tabelle 4-8: Gefilterte Abschnitte; Maßnahmenprogramm / Fall II-1

| LFDID | STRKL | VON_NK_A | NACH_NK_A | STATION_A | STATION_E | FB_NR | FB-Breite | M_TYP | M_Kosten | M_JAHR |
|--------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------|---------------------|--------------|---------------------------|-----------------|
| laufende ID-Nummer | Straßenklasse | von-Netznoten am Abschnittsanfang | bis-Netznoten am Abschnittsanfang | Stationierung Baubos Anfang | Stationierung Baubos Ende | Fahrbahn | Fahrbahn-Breite [m] | Maßnahmentyp | Maßnahmenkosten [Mio EUR] | Ausführungsjahr |
| 2 A | | 5406036A | 5306059A | 1000 | 4600 | 2 | 7,53 | E1 | 2,16 | 2025 |
| 5 A | | 5406036A | 5306059A | 0 | 5400 | 2 | 8 | E1 | 3,45 | 2024 |

Abfrage Maßnahmenvorbereitung/ Fall II-3

Eine weitere Abfrage ergibt sich für die konkrete Maßnahmenvorbereitung (Fall II-3). Damit wird ein Bestandsmodell erforderlich, aus dem alle für die Planung relevanten Daten hervorgehen. Als Eingangsgrößen sind unter anderem die räumliche Lage, der aktuelle Zustand (Oberfläche), die strukturelle Bewertung sowie der aktuell vorhandene Aufbau mit den zugehörigen Materialdaten erforderlich. Der Datenbedarf ergibt sich sinngemäß als Kombination der vorher dargestellten Fälle, ergänzt um spezifische Materialdaten. Die Datenfilterung ist beispielhaft in Abbildung 4-28 dargestellt.

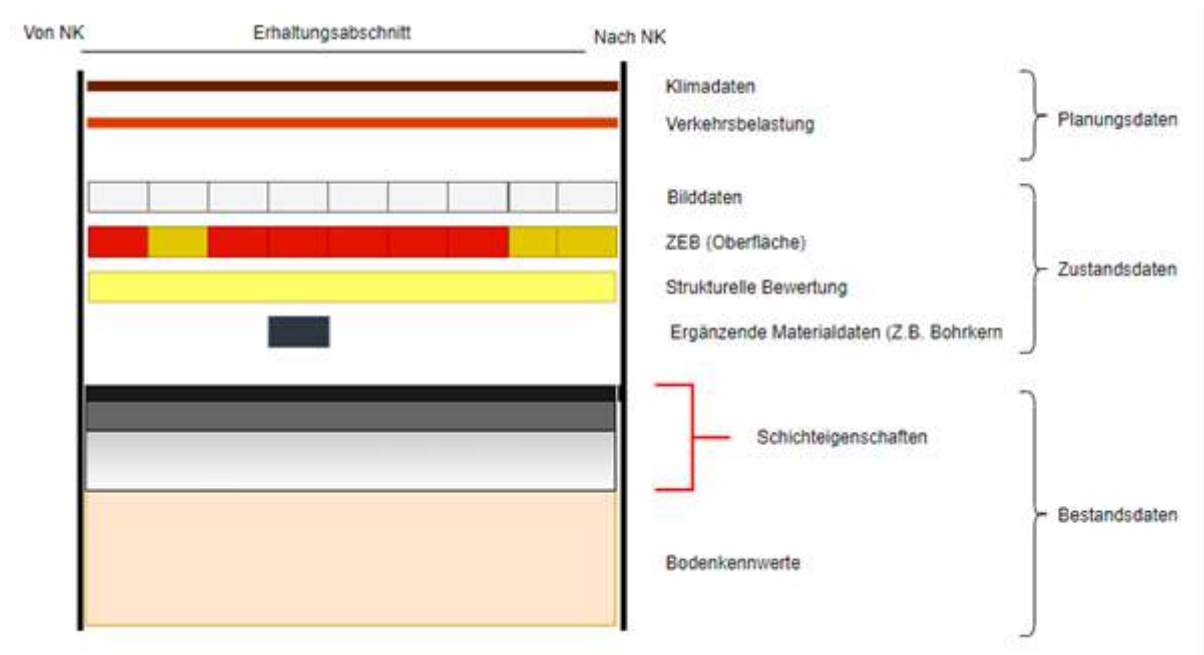


Abbildung 4-28: Exemplarischer Datenbedarf für Fall II-3

4.5.4 Filterungsfälle für Update III

Die im Update III hinzukommenden Daten entsprechen dem dann neu erstellten „wie gebaut-Modell“, d.h. die ersetzen Schichten der Fahrbahn oder gegebenenfalls ein kompletter Ersatzneubau. Filterungen können sich wie folgt ergeben:

- Übersicht über die in einem gewissen Zeitraum netzweit durchgeführten Maßnahmen zur Vorbereitung eines AMS-Berichts
- Übersicht zu den Daten einer durchgeführten Maßnahme im Rahmen der Gewährleistungsüberwachung

Für den ersten Fall sind lediglich die Lokalisierung, Art, Zeitpunkt und Kosten der Maßnahme erforderlich. Dies entspricht von der Struktur im Wesentlichen dem Fall II-1, allerdings mit dem Unterschied, dass die Abfrage im Fall II-1 sich auf einen Planungsfall, der hier angedachte Fall III-1 sich auf die tatsächlich ausgeführten Maßnahmen bezieht.

Im zweiten Fall III-2 werden detaillierte Daten zur Gewährleistungsüberwachung erforderlich. Dies sind Umfang der Maßnahme, materialtechnische Abnahmewerte sowie Zustandswerte bei der Abnahme. Dabei werden Daten in etwa vergleichbar wie Fall II-3 erforderlich.

4.5.5 Technische Umsetzung mit Semantic Web

Die Filterung und Aggregation der Informationen, welche in den oben genannten Anwendungsfällen beschrieben sind, können mittels Semantic Web technisch umgesetzt werden. Die wichtigste Voraussetzung ist, dass die Daten in den Sprachen für Semantic Web beschrieben bzw. gespeichert werden müssen. Das beinhaltet beispielsweise Resource Description Framework (RDF), Resource Description Framework Schema (RDFS), Web Ontology Language (OWL) und SPARQL Protocol And RDF Query Language (SPARQL), welche als offene Standards von dem World Wide Web Consortium (W3C) entwickelt wurden. Die Definition der Daten in der Semantic Web Sprache gilt sowohl für die Daten aus den vorhandenen Asset Datenbanken als auch für die semantischen Informationen, die durch die jeweiligen Updates während der Betriebsphase erfasst werden. Diese Informationen können mit dem Objektmodell der Fahrbahn innerhalb des Information Containers (ICDD) gespeichert und verknüpft werden.

Exportieren der AMS-Daten in ICDD

Um die ingenieurtechnischen Tätigkeiten hinsichtlich der Auswertung des Fahrbahnzustands und der Entscheidung zu Erhaltungsmaßnahmen zu unterstützen, müssen die Daten ganzheitlich betrachtet werden. Die entsprechenden Funktionen, z.B. Filterung und



Aggregation, werden bis jetzt teilweise auch schon durch vorhandene AMS angeboten, welche allerdings nur auf den Daten der Asset Datenbanken basieren. Bedingt durch die bestehende Struktur des vorhandenen AMS werden die Daten vom Objektmodell, bestimmter Inspektionen (Bohrkerne) und Erhaltungsmaßnahmen jedoch in unterschiedlichen Datenbanken bzw. Datensystems vorgehalten (siehe Tabelle 4-9). Mit ICDD werden alle notwendigen Daten als ein Paket gespeichert und verknüpft. Die in AMS gespeicherten relevanten Daten werden in das ICDD importiert. Während des Imports werden diese Daten in die Semantic Web Sprache umgeschrieben. Neben der Filterung der Basisdaten bzw. von Attributen kann die Aggregation gemäß ingenieurmäßiger Überlegungen oder Standards unter Anwendung von SPARQL-Abfragen innerhalb der ICDD-Daten durchgeführt werden.

Tabelle 4-9: Datenzustand bezüglich Datensystem und Datenformat

| Datenumfang | Datenspeicherung | Datenformat / System |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Meta-Daten Straßennetz | Vorhandene Asset Datenbank | Basiert auf relationaler Datenbank |
| Historische Zustandsdaten | Vorhandene Asset Datenbank | Basiert auf relationaler Datenbank |
| Semantische Daten aus Updaten | Information Container (ICDD) | Basiert auf Ontologien (Semantic Web) |
| Geometrisches Modell | Information Container (ICDD) | IFC |
| Verknüpfungsdaten | Information Container (ICDD) | Basiert auf Ontologien (Semantic Web) |

Filterung von ICDD-Daten unter Anwendung von SPARQL

Die Domain Ontologien, z.B. EUOTL (European Road OTL) für Infrastrukturen angesichts eines Lebenszyklus Information Managements, BSD (Baustoff Daten Ontology) für die Erfassung von baustofftechnischen Daten und ERMO (Erhaltungsmaßnahme) für die Erfassung von geplanten Erhaltungsmaßnahmen, sind vorhanden oder im Rahmen des Projekts als OWL-Ontologien definiert. Die OWL-Ontologien können in verschiedenen Daten-Schema dargestellt werden. Dabei sind RDF/XML – von W3C empfohlen und Turtle (Terse RDF Triple Language) für eine leichte Lesbarkeit die am häufigsten verwendeten standardschemas. Die Daten aus der vorhandenen Asset Datenbank werden als Instanzen von den vordefinierten Ontologien in einen von den beiden Daten-Schema gespeichert.

Die Abfrage dieser Daten kann dann mit SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language) durchgeführt werden. Die von W3C entwickelte Abfragesprache hat eine SQL-ähnliche Sprache für RDF-Graphen Daten. Die Turtle Syntax sowie die RDF Syntax können



für die Formulierung von Abfragebefehlen verwendet werden. In der Abbildung 4-29 ist ein einfaches Syntax-Beispiel einer SPARQL Abfrage in Turtle dargestellt. In Zeile 1 des Beispiels wird der Namespace zuerst mit einem Präfix definiert, welcher in den weiteren Befehlen verwendet wird. In Zeile 2 wird der Abfragetyp festgelegt und der gesuchte Datensatz definiert. An dieser Stelle können verschiedene SPARQL – Abfragetypen angesetzt werden, die unterschiedliche Ergebnisse liefern:

- Mit „SELECT“ wird eine Liste der gesuchte Variable als Ergebnis zurückgegeben.
- Mit „CONSTRUCT“ werden ein RDF Graph als Ergebnis zurückgegeben. Der Graph besteht aus mehreren Tripeln mit einer vordefinierten Graph Vorlage.
- Mit „ASK“ wird ein Wahrheitswert als Ergebnis zurückgegeben, womit gezeigt wird, ob für das gesuchte Graph Muster eine Lösung vorhanden ist.
- Mit „DESCRIBE“ wird nur ein Graph des gesuchten Datensatz zurückgegeben, in dem alle direkt mit dem gesuchten Datensatz verbundenen Ressourcen enthalten sind.

```
1 PREFIX pref:<URI>
2 SELECT ?var1 ?var2 ?var3
3 WHERE {
4   ?var1 pref:klasse ?var2 .
5   ?var2 pref:property ?var3.
6 }
```

Abbildung 4-29: Turtle Syntax Beispiel einer SPARQL Abfrage

Von Zeile 3 bis 6 ist der WHERE-Block definiert, in dem die gesuchten Graph Daten definiert werden. In diesem Block können weitere Funktionen für das Aggregieren oder das Filtern der gesuchten Daten genutzt werden. Beispielsweise kann für die Filterung der Daten der Befehl „FILTER“ formuliert werden. Angesichts der aufgelisteten Anwendungsfälle für die Fahrbahndaten, sind für die meisten Abfragen die Funktion „SELECT“ mit der Funktion „FILTER“ zu kombinieren. Im Folgenden werden Beispiele zur Beschreibung der Daten anhand von Ontologien und die darauf basierenden Abfragen vorgestellt.

Beispiele der Datenfilterung mit SPARQL

Um die Filterung und Aggregation der Daten mit Semantic Web Technik zu demonstrieren, werden hier zwei Beispiele aus den vorgestellten Anwendungsfällen dargestellt. Die Daten werden aus den zugehörigen Tabellenwerten der jeweiligen Anwendung übernommen. Als Voraussetzung sind die relevanten AMS-Daten als Instanzen entsprechenden Ontologien umzuschreiben. Dies wird im Moment manuell übertragen. Der Vorgang zur Verbindung mit



der bestehenden Asset Datenbank, dem Importieren der Daten und dem Umschreiben der Daten in eine ontologie-entsprechende Form ist innerhalb des Prototyps automatisiert. In jedem Beispiel werden die gesamten Daten in Abhängigkeit der Ontologien beschrieben. Im Anschluss daran erfolgt die SPARQL-Abfrage, um bestimmte Informationen aus den gesamten Daten herauszufiltern. Das Ergebnis dieser Abfrage wird ebenfalls vorgestellt.

1. Beispiel zur „Abfrage der strukturellen Daten / (Fall I-2)“

In diesem Beispiel werden die Stationierungsdaten für die ersten drei Fahrbahnabschnitte und die entsprechenden Schichtendaten aus Tabelle 4-6 ausgewählt. Diese Daten werden manuell in Ontologien „EUROTL“ und „BSD“ aus Kapitel 4.3.3 beschrieben (siehe Tabelle 4-10).

Tabelle 4-10: Daten aus Fahrbahnabschnitt als Instanzen den Ontologien

| Name der Zustand | Wert von 1. Abschnitt | Wert von 2. Abschnitt | Wert von 3. Abschnitt | Ontologie-Klasse / Property der Instanz |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| Laufende ID-Nummer | 1 | 2 | 3 | EUROTL:Lane / rdfs:label |
| Von-Netzknoten am Abschnittsanfang | 5406036A | 5406036A | 5406036A | EUROTL:LocationCode / rdf:value |
| Bis-Netzknoten am Abschnittsanfang | 5306059A | 5306059A | 5306059A | EUROTL:LocationCode / rdf:value |
| Stationierung am Abschnittsende | 1700 | 4600 | 2500 | EUROTL:LocationCode / rdf:value |
| Art der Schicht 1 (Deckschicht) | GA | GA | GA | BSD:SchichtDaten / BSD:hasNameZuSchichtInfo |
| Dicke der Schicht 1 (Deckschicht) | 4.0 | 4.0 | 4.0 | BSD:SchichtDaten / BSD:hasValueDecimal |
| Baujahr der Schicht 1 (Deckschicht) | 2003 | 2003 | 2003 | BSD:SchichtDaten / prov:generatedAtTime |
| Art der Schicht 2 | ABB | ABB | ABB | BSD:SchichtDaten / BSD:hasNameZuSchichtInfo |
| Dicke der Schicht 2 | 9.0 | 14.0 | 9.0 | BSD:SchichtDaten / BSD:hasValueDecimal |
| Baujahr der Schicht 2 | 2003 | 1975 | 2003 | BSD:SchichtDaten / prov:generatedAtTime |
| Art der Schicht 3 | TSGK | TSGK | TSGK | BSD:SchichtDaten / BSD:hasNameZuSchichtInfo |
| Dicke der Schicht 3 | 18.0 | 18.0 | 18.0 | BSD:SchichtDaten / BSD:hasValueDecimal |
| Baujahr der Schicht 3 | 2003 | 1975 | 2003 | BSD:SchichtDaten / prov:generatedAtTime |
| Art der Schicht 4 | ToB | ToB | ToB | BSD:SchichtDaten / BSD:hasNameZuSchichtInfo |
| Dicke der Schicht 4 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | BSD:SchichtDaten / BSD:hasValueDecimal |
| Baujahr der Schicht 4 | 2003 | 1975 | 2003 | BSD:SchichtDaten / prov:generatedAtTime |

Beispielhaft kann eine SPARQL – Abfrage über alle Schichten für Fahrbahnschnitt 1 erstellt werden. Die Schichtart, die Dicke sowie die Einbauzeit können als Ergebnis ausgegeben werden. Die Abfrage mit Turtle Syntax sowie die Ergebnisse als Tabelle sind in Abbildung 4-30 dargestellt.

Query Editor

Query Library

```
SELECT ?schicht ?art ?dicke ?time
WHERE {
  ?abschnitt a EUROTL:Lane .
  ?abschnitt rdfs:label ?name
  FILTER ( ?name = "ID_1").
  ?abschnitt EUROTL:hasCondition ?schicht.
  ?schicht prov:generatedAtTime ?time.
  ?schicht BSD:hasNameZuSchichtInfo ?art ;
  BSD:hasValueDecimal ?dicke.
}
```

| [schicht] | art | dicke | time |
|-------------------------|--------------------------|-------|---------------------|
| ◆ instanc:ID1_Schicht_1 | S Art der Schicht - GA | 4.0 | 2003-01-01T00:00:00 |
| ◆ instanc:ID1_Schicht_2 | S Art der Schicht - ABB | 9.0 | 2003-01-01T00:00:00 |
| ◆ instanc:ID1_Schicht_3 | S Art der Schicht - TSGK | 18.0 | 2003-01-01T00:00:00 |
| ◆ instanc:ID1_Schicht_4 | S Art der Schicht - ToB | 20.0 | 2003-01-01T00:00:00 |

Abbildung 4-30: SPARQL – Abfrage über Schichtdaten einen Fahrbahnabschnitt

2. Beispiel zur „Abfrage Erhaltungsprogramm / Fall II-1

In diesem Beispiel werden die Stationierungsdaten für die zwei Fahrbahnabschnitte und die entsprechenden Daten über den Erhaltungsplan aus Tabelle 4-8 ausgewählt. Diese Daten werden manuell in Ontologien „EUROTL“ und „ERMO“ aus Kapitel 4.3.3 beschrieben (siehe Tabelle 4-11)

Tabelle 4-11: Erhaltungsplan für zwei Fahrbahnabschnitten als Instanzen den Ontologien

| Name der Zustand | Wert von 1. Abschnitt | Wert von 2. Abschnitt | Ontologie-Klasse / Property der Instanz |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| Laufende ID-Nummer | 2 | 5 | EUROTL:Lane / rdfs:label |
| Von-Netzknoten am Abschnittsanfang | 5406036A | 5406036A | EUROTL:LocationCode / rdf:value |
| Bis-Netzknoten am Abschnittsanfang | 5306059A | 5306059A | EUROTL:LocationCode / rdf:value |
| Stationierung Baulos Anfang | 1000 | 0 | EUROTL:LocationCode / rdf:value |
| Stationierung Baulos Ende | 4600 | 5400 | EUROTL:LocationCode / rdf:value |
| Massnahmentyp | E1 | E1 | ERMO:Programm / ERMO:Type |
| Massnahmenkosten | 2.16 | 3.45 | ERMO:Programm / ERMO:Kosten |
| Ausführungsjahr | 2025 | 2024 | ERMO:Programm / ERMO:Jahr |



Als Beispiel kann eine SPARQL – Abfrage mit Turtle Syntax über die geplante Erhaltungsmaßnahme im Jahr 2024 erstellt werden. Der Maßnahmen-Typ, die Kosten sowie der Abschnitt können als Ergebnis als Tabelle ausgegeben werden (siehe Abbildung 4-31).

| Query Editor Query Library | | | |
|---|------|------|------|
| <pre> SELECT ?abschnitt ?type ?kost ?jahr WHERE { ?abschnitt a EUROTL:Lane . ?abschnitt owl:topObjectProperty ?erhaltung. ?erhaltung ERMO:Jahr ?jahr ; ERMO:Type ?type ; ERMO:Kosten ?kost. FILTER (?jahr = "2024"^^xsd:gYear) . } </pre> | | | |
| [abschnitt] | type | kost | jahr |
| ◆ instanc:IDNr5 | S E1 | 3.45 | 2024 |

Abbildung 4-31: SPARQL – Abfrage über eine Verwaltungsmaßnahme im Jahr 2024

4.6 Kapitelzusammenfassung

In diesem Kapitel wurde das Konzept für einen BIM-basierten Datenaustausch vorgestellt. Hierzu gehört auch die Erläuterung der Vorgehensweise zur Erstellung von Merkmalen und Merkmalsgruppen, die im Rahmen der ausgewählten Anwendungsfälle berücksichtigt werden. Dazu zählen der Datenaustausch bei der Zustandserfassung und -bewertung, bei der Planung von Erhaltungsmaßnahmen und die Aktualisierung der baustofftechnischen Eigenschaften aus der Bauphase nach Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme. Neben den alphanumerischen Grundlagen der baustofftechnischen Merkmale wurden die aktuellen Möglichkeiten zur linearen Referenzierung (geometrische Informationen) mittels eines IFC-Alignments aufgezeigt und umgesetzt. Die hierfür benötigten Funktionen stehen seitens des IFC aktuell jedoch noch nicht zur Verfügung, sodass für die Abbildung länderspezifischen Stationierungssysteme eigene Konzepte entwickelt wurden. Für die vorgestellten Anwendungsfälle wurden im Anschluss Informationscontainer zum Datenaustausch erstellt sowie deren Inhalt und die internen Verknüpfungen der darin enthaltenen Daten erläutert. Weiterhin wurden Anwendungsfälle zur Filterung unter Verwendung von Beispieldaten

aufgezeigt. Zuletzt wurde die technische Umsetzung mit Hilfe der Semantik Web Technologie anhand eines Beispiels erläutert. Zur Vorbereitung einer ersten prototypischen Anwendung der entwickelten Konzepte wurde ein begrenzter Straßenabschnitt als BIM-Modell erstellt.

5 VERKNÜPFUNG VON BIM UND IAMS

5.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des Arbeitspaketes 5 zur Datenhaltung auf verschiedenen Nutzungsebenen vorgestellt. Die Datenhaltung eines IAMS ist länderspezifisch in Hinblick auf die Verwaltung und den Datenumfang. Das Konzept der Datenhaltung berücksichtigt überwiegend die semantischen baustofftechnischen Informationen und das zugehörige digitale Straßenmodell im IFC-Format.

5.2 Datenhaltung im Rahmen der Betriebsphase

Im Arbeitspaket 4.1 wurden die baustofftechnischen Informationen in Form von Merkmalen und Merkmalsgruppe gemäß EN ISO 23386 definiert. Die vordefinierten Merkmale beinhalten Informationen über die Aufbauschichten, die Einbaubedingungen, die Materialprüfung und Zustandseigenschaften der Fahrbahnoberfläche. Die Werte der Merkmale wurden entsprechend der verschiedenen Phasen des Lebenszyklus festgelegt bzw. erfasst. Die Merkmale in Hinsicht auf Aufbauschicht, Einbaubedingung sowie Erst- und Kontrollprüfung des Einbaumaterials werden während der Planung und im Zuge der Bereitstellung des Bauwerks bzw. Straßenabschnitts erfasst. Merkmale in Hinblick auf die Zustandseigenschaften werden erst in der Betriebsphase durch Inspektionen mit Werten belegt. Weiterhin können auch Unterlagen wie Fotos, Messberichte und Protokolle als PDFs zur Ergänzung der baustofftechnischen Informationen der Fahrbahn erfasst werden. Je nach Zeitpunkt sind unterschiedliche Akteure für die Erfassung der Merkmale und die damit verbundenen Unterlagen verantwortlich. Fachplaner und Bauunternehmen sind für die Erfassung und die Lieferung der Informationen während der Realisierung des Straßenabschnitts zuständig. Hingegen werden die Zustandseigenschaften der Fahrbahnoberfläche während der Betriebsphase vom Bauherrn oder dem beauftragten Ingenieurbüro im Rahmen einer Inspektion ermittelt.

Auch in der EN ISO 19650-1 werden zwei unterschiedliche Sichtweisen hinsichtlich Projekt- und Betriebsphase in Form von Informationsmodellen beschrieben. Das Projekt-Informationsmodell (PIM) wird während der Planungs- und Ausführungsphase für das Informationsmanagement zwischen den beteiligten Akteuren verwendet. Am Ende des Projektes sollten dort alle relevanten Informationen für den späteren Betrieb verfügbar sein. Das PIM umfasst dabei digitale Straßenmodelle sowie weitere verknüpfte Informationen. Diese Daten werden heutzutage mit Hilfe einer gemeinsamen Datenumgebung in Form von Dateien verwaltet. Im Rahmen des Bauprojektes wird angenommen, dass alle erfassten



baustofftechnischen Informationen direkt im digitalen Straßenmodell gespeichert werden. Die Informationen werden zusätzlich mit Hilfe einer Ontologie beschrieben, damit diese einheitlich mit Hilfe von Informationscontainern nach EN ISO 21597-2 ausgetauscht und abgefragt werden können.

Nach EN ISO 19650-1 werden die Informationen aus dem PIM für den Betrieb in ein Asset-Informationsmodell (AIM) überführt. Die entsprechenden Softwaresysteme werden als Asset-Management-Systeme bezeichnet. In diesem Übertragungsschritt werden jedoch nur für die betrieblichen Prozesse relevante Informationen übernommen. In diesem Forschungsprojekt erfolgt die Übernahme der Informationen in das AIM mit Hilfe eines Informationscontainers nach EN ISO 21597-2 (vgl. Abbildung 5-1).

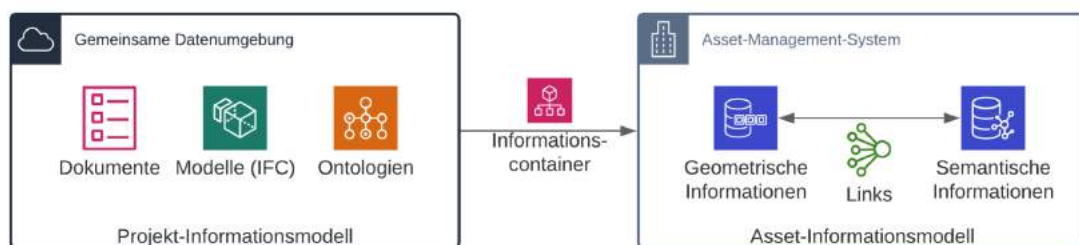


Abbildung 5-1: Nutzung von Informationscontainern zum Datenaustausch zwischen Projekt- und Asset-Informationsmodell nach EN ISO 19650-1

Bei der Übergabe eines Informationscontainers für den Betrieb sollten für die Verwaltung im Rahmen eines Asset-Management-Systems geometrische und semantische Informationen getrennt behandelt werden. Durch die Trennung können die semantischen Informationen über den gesamten Lebenszyklus ergänzt werden, ohne direkt die geometrische Information in Form von einem Modell bearbeiten zu müssen. Somit wird das Modell auch nicht mit semantischen Details überfrachtet. Im speziellen Anwendungsfall können die erforderlichen Informationen dynamisch aus einer Datenbank nachgeladen werden. Zudem können bestehende Daten, welche den Asset Management Systemen zu Grunde liegen, weiterhin mit etablierten Prozessen erfasst, bearbeitet und ausgewertet werden. In der Regel existieren schon vorhandene Asset-Management-Systeme, die bestimmte Informationen für den Betrieb verwalten. Um die Trennung zwischen geometrischen und semantischen Informationen zu realisieren, sollten die Asset-Management-Systeme eine objektorientierte Datenhaltung ermöglichen. D.h. es können eindeutige Identifikatoren für bestimmte Straßenobjekte vergeben werden. Hierzu gehören beispielsweise Streckenabschnitte, Aufbauschichten oder auch Entnahmeorte für baustofftechnische Daten. Diese Informationen sollten auch im

digitalen Straßenmodell auf Basis des IFC-Formats vorhanden sein. In einer Datenbank sollten daher, wenn möglich, alle semantischen Informationen gespeichert werden. Hierzu gehören Objektklassen bzw. Objekttypen, Merkmale und auch Parameter zur Beschreibung von geometrischen Eigenschaften. Prinzipiell sollten aus dem digitalen Straßenmodell alle semantischen Informationen entfernt werden, die im Laufe des Betriebs aktualisiert und genutzt werden sollen. Die geometrischen Informationen, entweder als explizite oder als implizite Beschreibung, werden separat verwaltet. Dies kann zum einen mit Hilfe von Dateien im IFC-Format oder als Datenbank in Form eines BIM-Servers erfolgen. Bei der Nutzung von Dateien können bestehende BIM-Viewer, die auch eine Datenbankanbindung zur Abfrage von semantischen Informationen ermöglichen, verwendet werden. Damit ein einheitlicher Zugriff auf geometrische und semantische Informationen möglich ist, sollten alle Informationen auch mit Hilfe von Ontologien beschrieben werden. Für die Abfrage von digitalen Straßenmodellen im IFC-Format stellt beispielsweise buildingSMART International standardmäßig eine RDF-Repräsentation zur Verfügung.

Für die Trennung von geometrischen und semantischen Informationen müssen entsprechende Transformationsregeln definiert werden. Mit Hilfe der Ontologien wird definiert, welche Informationen bzw. Eigenschaften in die Datenbank des Asset-Management-Systems übernommen werden. Ist die Basis eines Asset-Management-Systems beispielsweise eine relationale Datenbank, dann werden entsprechende SQL-Statements auf Grundlage der Ontologie erstellt. Hierzu existieren verschiedene Ansätze, um ein Mapping von SPARQL auf SQL vorzunehmen. Wichtig dabei ist, dass entsprechende Objekte in der relationalen Datenbank vorhanden sind und eindeutige Identifikatoren IFC-konform hinterlegt werden können. Für ein konsistentes Mapping sollte das Datenschema des Asset-Management-Systems auch mit einer Ontologie beschrieben und mit den Ontologien aus dem Informationscontainer verknüpft werden können (vgl. Abbildung 5-2).

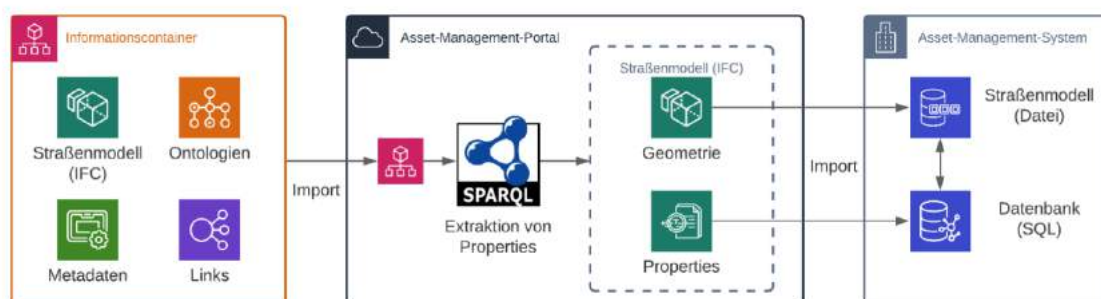


Abbildung 5-2: Import eines Informationscontainers in eine relationale Datenbank eines Asset-Management-Systems

Durch die Trennung von geometrischen und semantischen Informationen entstehen somit zwei Datenquellen mit unterschiedlichen Daten. Zusätzlich können in einer Datenbank oder in einem entsprechenden Dokumentenmanagementsystem auch beliebige Dokumente (z.B. Bilder, Berichte) mit den Objekten der BIM-Modelle verknüpft werden (vgl. Abbildung 5-3). Prinzipiell kann die Verknüpfung auch mit mehreren Datenbanken erfolgen. Die Nutzer eines Asset-Management-Systems sollten von dieser Trennung prinzipiell nichts merken, d.h. der Zugriff auf beide Informationsquellen sollte einheitlich erfolgen. Hierzu kann beispielsweise ein Portal-Ansatz verfolgt werden. Ein Portal ist ein Anwendungssystem, das sich durch die Integration von Daten und Anwendungen auszeichnet. Charakterisierend für Portale ist die Verknüpfung und der Datenaustausch zwischen heterogenen Anwendungen über eine Portalplattform (hier als Linking Layer bezeichnet). Prinzipiell kann man auch von einer Middleware sprechen, die gängige Services und Funktionen für Anwendungen bereitstellt. Eine manuelle Anmeldung an den in das Portal integrierten Anwendungen ist durch Single-Sign-On nicht mehr notwendig; es gibt einen zentralen Zugriff über eine homogene Benutzungsoberfläche. Portale bieten die Möglichkeit, Prozesse und Zusammenarbeit innerhalb heterogener Gruppen zu unterstützen. Für die Integration von geometrischen und semantischen Informationen wird daher ein Asset-Management-Portal vorgesehen. In dem Asset-Management-Portal werden die einzelnen Informationen abgefragt, kombiniert und verwaltet. Nähere Informationen können dem Bericht zu Kapitel 4 entnommen werden (vgl. Abbildung 5-3).

Um eine Datenredundanz möglichst zu vermeiden, muss die Datenhoheit sowohl für die unterschiedlichen Datenquellen als auch auf den verschiedenen Nutzungsebenen durch interne Organisation in der Straßenbauverwaltung geregelt werden. Wenn alle Nutzungsebenen vernetzt sind, ist Single-source-of-truth prinzipiell möglich, wenn die Regelung zur Speicherung und Verwaltung der Originaldaten festgelegt wurde. Bei einem Konzept, wie des Data Warehouses, mit unterschiedlichen Datenquellen muss zusätzlich die Synchronisation der Daten eindeutig geregelt werden, wer wann und welche Daten schreiben und ändern darf.

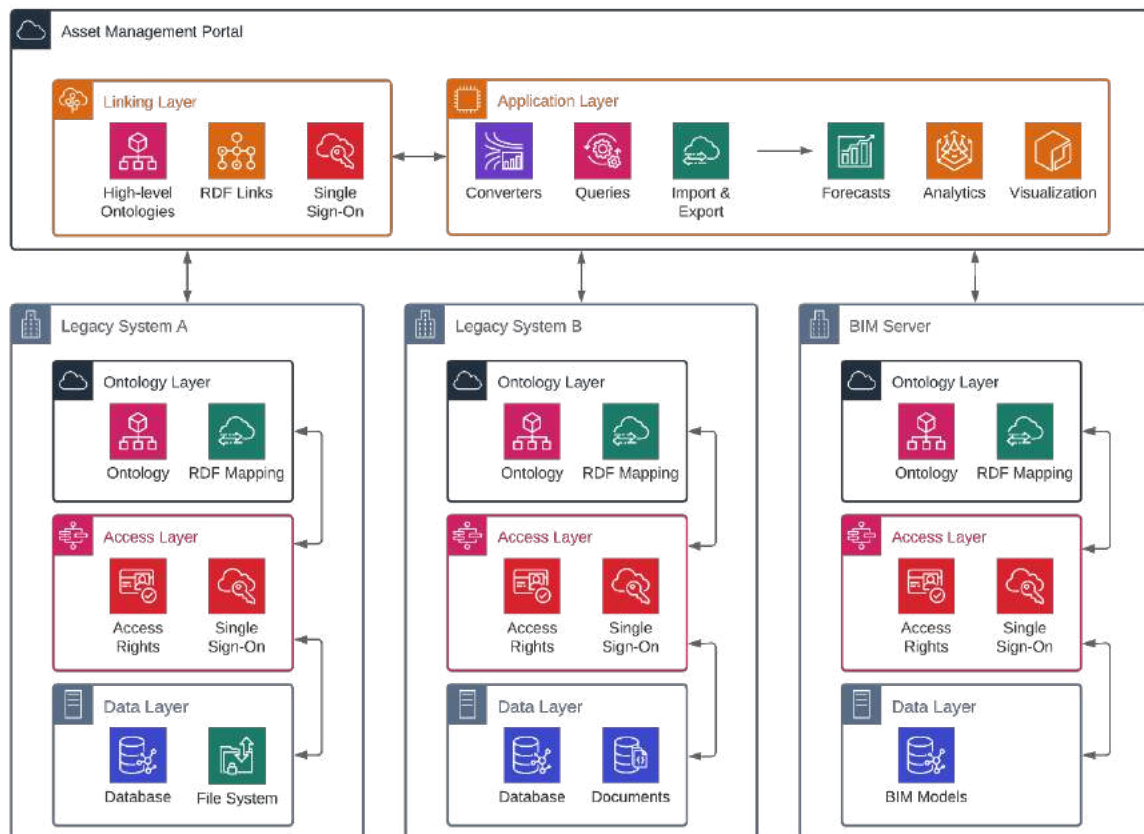


Abbildung 5-3: Aufbau eines Asset-Management-Portals zur Verknüpfung von geometrischen und semantischen Informationen

In der Regel wird die Verwaltung von Informationen während des Betriebs von Straßen nicht in einem zentralen Asset-Management-System vorgenommen. Vielmehr existieren auf unterschiedlichen Nutzungsebenen verschiedene Systeme. Beispielsweise erfolgt die Verwaltung des Straßennetzes in Deutschland sowohl in den einzelnen Bundesländern (z. B. NWSIB - Straßeninformationsbank Nordrhein-Westfalen) als auch beim Bund (BISStra - Bundesinformationssystem Straße). Der Datenaustausch zwischen den Systemen auf regionaler bzw. nationaler Ebene erfolgt in Deutschland zum Beispiel mit Hilfe von OKSTRA. Während des Betriebs können auch weitere Informationscontainer und BIM-basierte Fachmodelle hinzugefügt werden.

Im Rahmen dieses Berichtes werden zwei verschiedene Konzepte zur Datenhaltung auf verschiedenen Nutzungsebenen beschrieben. Um die Konzepte auf die D-A-CH Länder angepasst zu erstellen, werden drei allgemeine Nutzerebenen unterteilt: lokal, regional und national (vgl. Abbildung 5-4).



Lokale Ebene: Unter der lokalen Ebene ist die Datenhaltung und Nutzung der Informationen während der Planungs- und Bauphase zu verstehen. Hier wird eine gemeinsame Datenumgebung verwendet, die nach Beendigung des Projektes weiterhin als Archiv vorhanden ist. Somit können auch Informationen im Laufe des Betriebs genutzt werden, die nicht in das Asset-Informationsmodell übernommen werden. Prinzipiell könnte auch die lokale Datenhaltung in Form eines Portals durch Trennung von geometrischen und semantischen Informationen erfolgen.

Regionale Ebene: Auf der regionalen Ebene erfolgt eine umfassende Datenhaltung aller für den Betrieb relevanten Informationen. Die regionalen Nutzer sind für den eigentlichen Betrieb verantwortlich und ermöglichen eine detaillierte Planung der Erhaltungsmaßnahmen. Üblicherweise erfolgt die Ausführung der baulichen Aktivitäten, z. B. Planung, Vorbereitung und Umsetzung von Erhaltungsmaßnahmen, auch auf der regionalen Ebene. In der Regel werden auf regionaler Ebene die meisten Informationen während des Betriebs genutzt, aktualisiert bzw. ergänzt.

Nationale Ebene: Auf der nationalen Ebene werden Informationen zum gesamten Straßennetz verwaltet und im Wesentlichen für weitergehende Analysen verwendet. Datenaktualisierungen finden hier i.d.R. nur für ausgewählte Anwendungen statt. Beispielsweise werden in Deutschland Informationen zum Zustand der Fahrbahnen zentral verwaltet und mit dem Streckennetz verknüpft. Somit wird die Aktivität der Zustandserfassung auf der nationalen Ebene verortet.

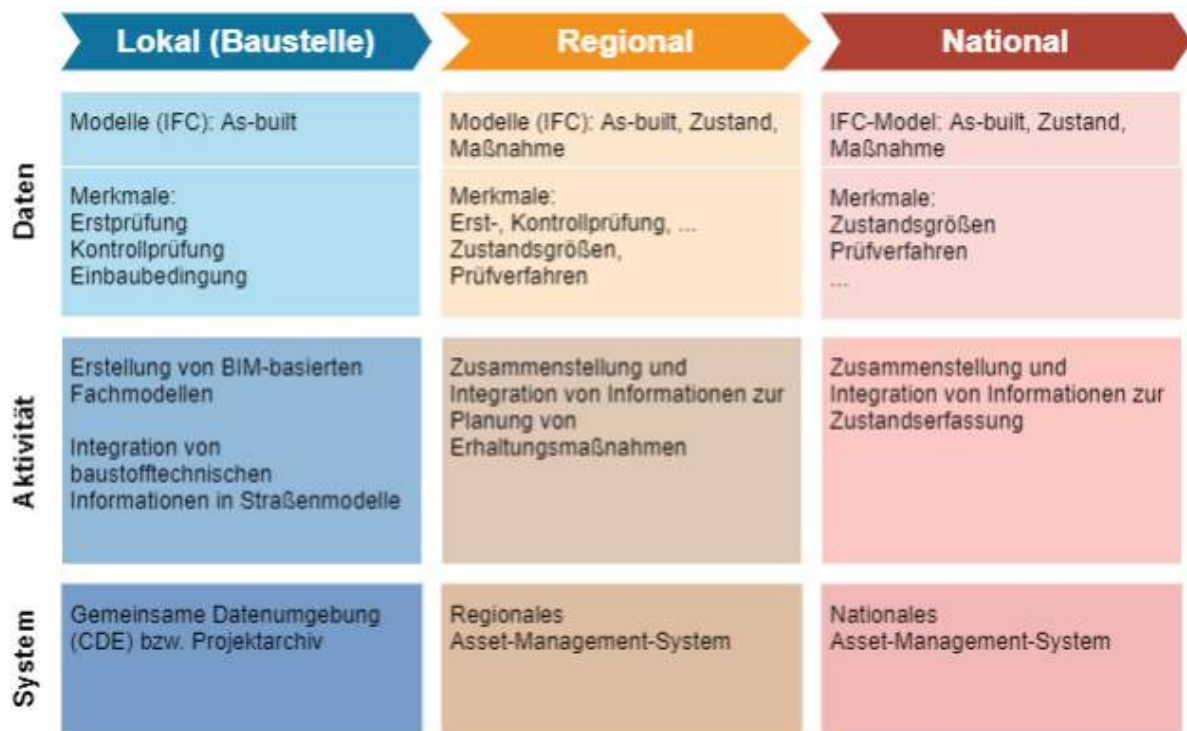


Abbildung 5-4: Spezifizierung der Datenhaltung nach Nutzungsebene

5.3 Verknüpfung von Data Warehouses

Beim Prinzip eines Data Warehouse werden auf jeder Nutzungsebene, die Daten erstellt und für den Betrieb übernommen hat, die erstellten Daten vollständig gespeichert. Ein Data Warehouse ist eine optimierte zentrale Datenbank, die Daten aus mehreren bestehenden, in der Regel heterogenen Quellen zusammenführt. Der Inhalt eines Data Warehouse entsteht durch Kopieren und Aufbereiten von Daten aus unterschiedlichen Quellen. Eine wesentliche Basis ist der ETL-Prozess (Extract, Transform, Load), bei dem Daten aus mehreren, gegebenenfalls unterschiedlich strukturierten Datenquellen in einer Zieldatenbank vereinigt werden. Die aus den unterschiedlich strukturierten Quellen stammenden Daten werden in ein einheitliches Datenschema transformiert werden. Unter Transformation wird in der Regel auch eine Datenbereinigung vorgenommen. Im Gegensatz dazu kann auch ein ELT-Prozess (Extract, Load, Transform) verwendet werden. ELT kopiert die Daten von den Quellsystem als Rohdaten direkt in das Zielsystem, wo sie nach Bedarf transformiert werden können. ELT transformiert keine Daten während der Übertragung.

Prinzipiell wird eine globale Sicht auf heterogene Datenbestände ermöglicht, indem die für die globale Sicht relevanten Daten aus den Datenquellen zu einem gemeinsamen konsistenten Datenbestand zusammengeführt werden. Dies ermöglicht einen komfortablen Datenzugriff.



Während der Planung und Ausführung eines Straßenprojektes mit Hilfe der BIM-Methode, werden alle Informationen in der gemeinsamen Datenumgebung (CDE) gespeichert und verwaltet. Auch nach Beendigung eines Projektes sollten alle Daten weiterhin in einem Archiv gespeichert werden. Das Archiv darf jedoch nicht geändert werden und dient der Dokumentation der Bauprojektes. Mit einem geregelten Übergabeprozess können die Daten der Projektinformation zur Betriebsinformation in Asset-Management-System integriert werden.

Alle für den Betrieb relevanten Informationen werden in Form eines Informationscontainers an den regionalen bzw. lokalen Betreiber übergeben. Der regionale Betreiber baut hierzu ein eigenes BIM-basiertes Asset-Management-System auf. Hierzu werden Informationen zum Betrieb zum einen direkt im digitalen Straßenmodell (hier IFC-Modell) und zum anderen in einer Datenbank gespeichert (siehe Kapitel 1). Auf diese zwei Datenquellen kann der regionale Betreiber über eine einheitliche Zugriffsschicht bzw. ein Portal mit entsprechenden Rollen- und Rechtekonzepten zugreifen. Prinzipiell kann ein solches Asset-Management-Portal auf Basis von Web-Standards realisiert werden. Das Asset-Management-Portal bietet jedoch nur Funktionalitäten an, um Anwendungen auf regionaler Ebene zu ermöglichen. Hierzu gehören folgende Aktivitäten:

- Import und Integration von Informationscontainern nach Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme
- Zusammenstellung und Export von Informationscontainern zur Realisierung einer Zustandserfassung und -bewertung
- Import und Integration von Informationscontainern nach Durchführung einer Zustandserfassung und -bewertung
- Zusammenstellung und Export von Informationscontainern zur Planung von Erhaltungsmaßnahmen
- Import und Integration von Informationscontainern nach Planung von Erhaltungsmaßnahmen
- Zusammenstellung und Export von Informationscontainern zur Realisierung von Erhaltungsmaßnahmen
- Abfrage und Visualisierung von zeitabhängigen Informationen zum Zustand eines Straßenabschnitts

Aktuell wird davon ausgegangen, dass die Erfassung und Bewertung des Straßenzustandes sowie die Planung und Realisierung von Erhaltungsmaßnahmen mit Hilfe von externen Werkzeugen erfolgt. Natürlich könnten auch diese Anwendungen als Dienste direkt im Asset-



Management-Portal vorgesehen werden. Dadurch, dass neue oder aktualisierte Informationen im Rahmen des Betriebs für einen konkreten Straßenabschnitt nur regional verwaltet werden, müssen keine speziellen Vorkehrungen hinsichtlich Datenkonsistenz und Datenredundanz beachtet werden. Es muss nur sichergestellt werden, dass Informationen nur in der Datenbank geändert und nur mit dem Straßenmodell verknüpft werden. Für den Export von Informationscontainern können Informationen aus der Datenbank in das Straßenmodell übernommen werden, damit eine einfache Nutzung durch die entsprechenden Benutzer des Informationscontainers möglich ist, wenn der direkte Zugriff auf die Datenquellen nicht möglich oder unzulässig ist. Als Mittel zum Datenaustausch kann die Erstellung und Integration des Informationscontainers aus der Asset-Management Datenbank mit Hilfe von einem Check-in / Check-out Mechanismus auf die Qualität und Konsistenz der Daten überprüft und sichergestellt werden. Somit entsteht durch die Übernahme von relevanten Informationen aus der Projektphase sowie Verwendungen von heterogenen Datenquellen ein regionales Data Warehouse.

Bestimmte Informationen müssen auch einer übergeordneten Nutzungsebene – hier als nationale Nutzungsebene bezeichnet – übergeben werden. Dadurch wird ein überregionaler Betrieb ermöglicht. Bei der Realisierung eines Data Warehouse Konzeptes werden Informationen, die relevant für die nationale Nutzungsebene sind, in ein eigenes Data Warehouse kopiert. Dadurch entsteht auf der einen Seite eine Entkopplung der regionalen und nationalen Nutzungsebene, auf der anderen Seite jedoch eine Datenredundanz, da Informationen in zwei Systemen gespeichert werden. Wichtig hierbei ist festzulegen, welche Informationen auf regionaler oder nationaler Ebene zu pflegen sind. Die Daten dürfen nur in einem System geändert werden. Über automatische Updates können Daten ausgetauscht werden. Hierbei sollte eine Echtzeitbeladung des Data Warehouse (real-time data warehousing) umgesetzt werden. Dies wird an einem Beispiel verdeutlicht. Sollen beispielsweise detaillierte Informationen zu Straßenabschnitten aus unterschiedlichen Regionen, die auch in regionalen Systemen gepflegt werden, über die nationale Nutzungsebene abgefragt werden, dann muss immer geprüft werden, ob die Daten im nationalen Data Warehouse noch aktuell sind. Es wird jeweils das regionale Data Warehouse abgefragt und die Aktualisierungszeitpunkte verglichen. Falls diese nicht aktuell sind, wird ein Update der nationalen Data Warehouse vorgenommen. Falls keine Änderungen identifiziert wurden, können die Datenkopien des nationalen Data Warehouse für die weiteren Analysen verwendet werden. Ein Vorteil dieses Konzeptes ist es, dass Daten auch dann genutzt werden können, falls ein regionales System gerade nicht verfügbar ist. Für die Realisierung eines

solchen Konzeptes müssen standardisierte Schnittstellen sowie Automatisierungsfunktionen entwickelt werden. Prinzipiell ist auch ein bidirektionaler Austausch zwischen regionaler und nationaler Nutzungsebene möglich. Hierbei müssen jedoch weitergehende Korrektheits- und Konsistenzprüfungen umgesetzt werden. Der systematische Aufbau von verschiedenen Data Warehouse Systemen auf unterschiedlichen Nutzungsebenen ist in Abbildung 5-5 dargestellt.

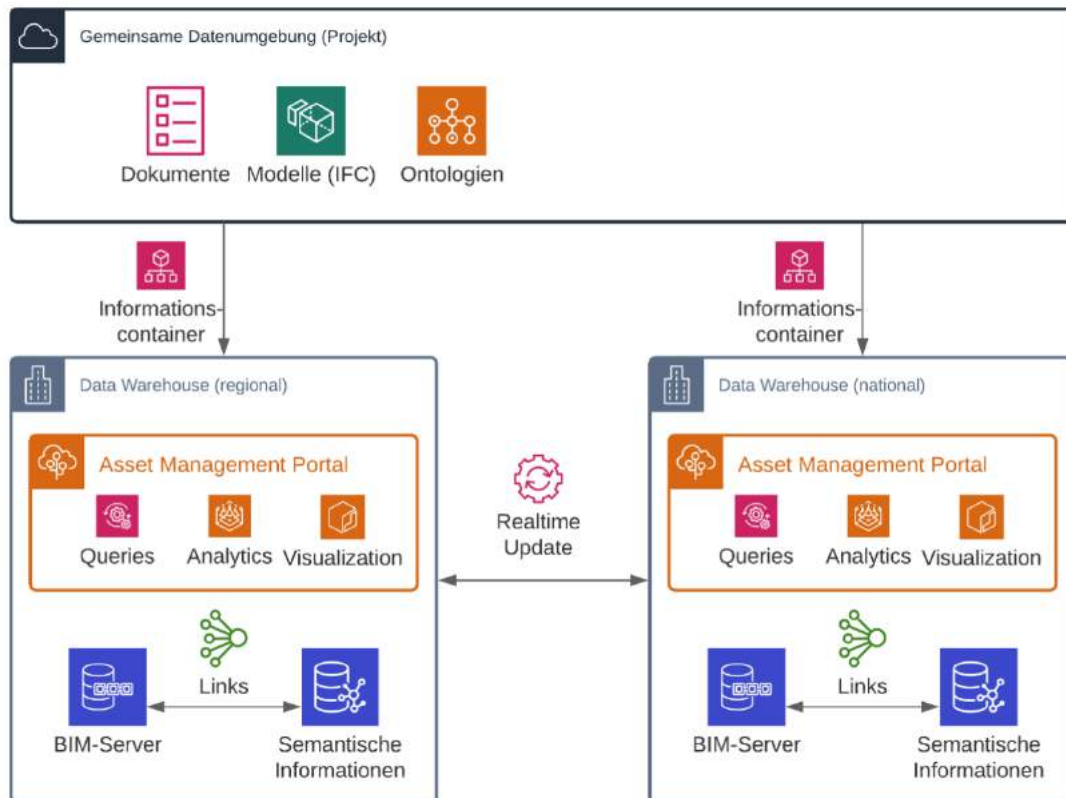


Abbildung 5-5: Konzept für verknüpfte Data Warehouses

5.4 Ganzheitliches Asset-Management-Portal

Prinzipiell kann der Portal-Ansatz auch auf verschiedenen Nutzungsebenen verfolgt werden. Bei diesem Ansatz werden einzelne Datenquellen und Dienste auf unterschiedlichen Ebenen über einen zentralen Einstiegspunkt – dem Portal – zur Verfügung gestellt. Prinzipiell ergibt sich eine zur Abb. 1-3 ähnliche Struktur. In diesem Fall werden Daten jedoch nur einmal gespeichert, d.h. die Datenhaltung erfolgt teilweise auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene. Alle Datenquellen werden mit Hilfe von Semantik-Web-Technologien verknüpft. Zur Abfrage der einzelnen Datenquellen sind entsprechende Web-Dienste unter der Nutzung von Ontologien zu entwickeln. Sinnvollerweise werden auch übergeordnete Ontologien (High-level



Ontologies) genutzt, um eine einheitliche Verknüpfung und Abfrage der Informationen zu gewährleisten. Hierbei müssen offene Standards und einheitliche Lokalisierungs- und Identifikationskonzepte genutzt werden. Das deutsche GeoPortal ist ein Beispiel für eine solche Umsetzung¹⁷. Über eine einheitliche Benutzeroberfläche können verschiedene Kartendienste über standardisierte Schnittstellen dynamisch eingebunden werden. Für Geodaten wurden vom Open Geospatial Consortium sogenannte Web-Map-Services spezifiziert. Ein Web-Map-Service (WMS) ist eine Schnittstelle zum Abrufen von Auszügen aus Landkarten über das World Wide Web. Darin sind die Parameter beschrieben, die bei einer Anfrage benannt werden müssen oder können. Weiter ist darin festgelegt, wie der WMS-Server aus einer solchen Anfrage den Ausschnitt und gegebenenfalls die inhaltliche Aufbereitung der Karte erzeugen soll. Mit Hilfe eines Web-Feature-Service (WFS) können auch Vektordaten lesend abgefragt sowie Daten mittels Transaktionen aktualisiert werden. Durch die Verbindung eines Web-Feature-Service mit einem Web-Map-Service (WMS) kann ein verteiltes Geoinformationssystem (GIS) umgesetzt werden. Wenn mehrere WMS und WFS gemeinsam über ein Portal genutzt werden, handelt es sich in der Regel um disjunkte Daten, die nur zum Zwecke der Visualisierung und Auswertung zusammen betrachtet werden. Die Verknüpfung erfolgt dabei über die geografische Verortung. Mit Hilfe von Registrierungsdiensten können neue Geodaten verfügbar und eingebunden werden. Die hier vorgestellten Konzepte (WFS, WMS) werden im Wesentlichen für den Aufbau von Geoinformationssystemen verwendet. Durch die Vereinheitlichung von Schnittstellen und Datenstrukturen können heutzutage Geoinformationssysteme einfach verknüpft und entsprechende Portal aufgebaut werden. Eine solche Vereinheitlichung fehlt aktuell noch im BIM und AMS-Kontext. An dieser Stelle ist die Erläuterung zum GeoPortal nur als Beispiele zu verstehen. Es müsste im Detail untersucht werden, ob eine Erweiterung von solchen GIS-Schnittstellen um Anforderungen aus dem BIM und AMS-Bereich möglich und sinnvoll ist. Entsprechende Ansätze könnten prinzipiell auch auf Straßenmodellen im BIM-Kontext übertragen werden. Damit verschiedene Informationen zu einem Straßenabschnitt aus unterschiedlichen Datenquellen geladen und gegebenenfalls aktualisiert werden können, müssen entsprechende Schnittstellen und Dienste entwickelt werden. Hierbei können beispielsweise abgestimmte Ontologien auf Basis von RDF und entsprechenden Anfragesprachen (z. B. SPARQL) genutzt werden. Die gemeinsame Verortung erfolgt anhand der Trassierung (Netzdaten), der linearen Referenzierung sowie durch die Nutzung von

¹⁷ <https://www.gdi-de.org/>

gemeinsamen Klassifikationen und Identifikatoren (in der Regel in Form eines Globally Unique Identifier, GUID).

Beim Aufbau eines ganzheitlichen Asset-Management-Portals sollten Informationen nur in einer Datenquelle gespeichert werden. Alle Nutzer greifen über das Portal auf die verschiedenen Datenquellen zu und stellen sich für bestimmte Anwendungen die notwendigen Daten zusammen bzw. können auf vordefinierte Anfragen zurückgreifen. Ein Beispiel wäre, dass alle Erst- und Kontrollprüfdaten für einen bestimmten Abschnitt abgefragt, visualisiert und zum Download zur Verfügung gestellt werden. Am besten wäre es, wenn Dienste für die Auswertung und Planung direkt über Web-Services auf die Datenquellen zugreifen würden. Dadurch müssen keine Import- und Exportdateien erzeugt und integriert werden. Die Abfrage von vorhandenen Daten über ein einheitliches Portal ist in der Regel noch recht einfach. Aufwendiger wird die gleichzeitige Aktualisierung von verschiedenen Datenquellen. Hierzu muss beispielsweise beim Import eines Informationscontainers genau spezifiziert werden, welche Datensätze in welche Datenquelle integriert werden. Des Weiteren müssen Verknüpfungen aufgebaut werden. Dies kann mit Hilfe einer separaten Datenbank erfolgen. Beispielsweise sollen neue Daten zu Bohrkernen importiert und mit einem Abschnitt bzw. Aufbauschichten verknüpft werden. Auch die Bildung von Abschnitten für die Umsetzung von Maßnahmen ist ein weiteres Beispiel. Eine mögliche Systemarchitektur eines ganzheitlichen Asset-Management-Portals ist in Abbildung 5-6 dargestellt. Hierbei wurden nur zwei Nutzungsebenen aufgenommen (lokal und regional). Eine Erweiterung ist möglich.

Tabelle 12: Glossar zu verwendeten Begriffen zu ganzheitlichem Asst-Management-Portal

| Begriff | Definition/ Erklärung |
|----------------|---|
| GIS | Geoinformationssystem, um Geodaten zu erfassen, verwalten und analysieren |
| GUID | Globally Unique Identifier, eine Zahl als eindeutigen Bezeichner in verteilten Computersystemen |
| WFS | Web-Feature-Service, Zugriff auf Geoinformation als Vektordaten innerhalb eines verteilten GIS |
| WMS | Web-Map-Service, eine Schnittstelle zum Abrufen von Auszügen aus Landkarten über das World Wide Web |

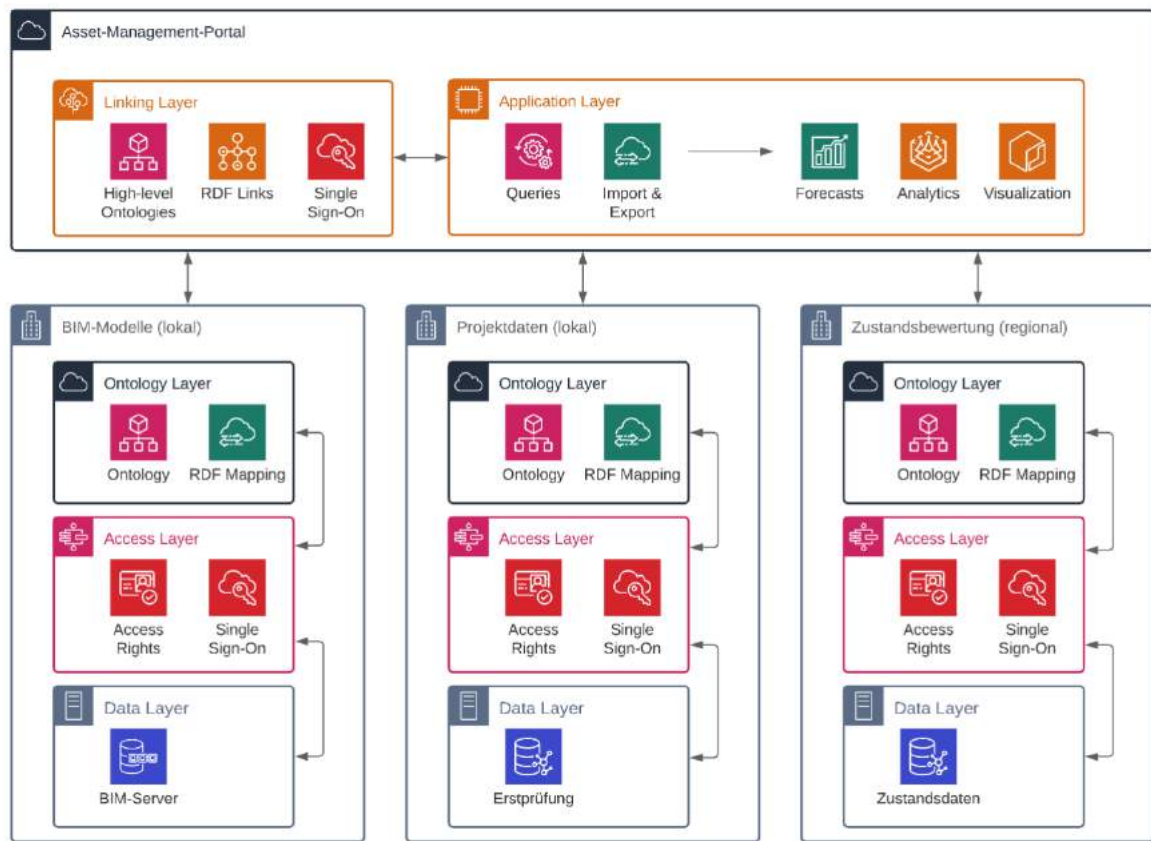


Abbildung 5-6: Konzept für ein ganzheitliches Asset-Management-Portal

Die Ergänzungen von alphanumerischen Informationen, die eindeutig einem Objekt oder einer bestimmten Position zugeordnet werden, ist dabei noch recht einfach. Auch unabhängige geometrische Informationen (z. B. Objekt eines Bohrkerns) können noch recht einfach integriert werden. Die Aktualisierung von geometrischen Informationen ist deutlich schwieriger. Hierzu müssen eindeutige geometrische Operationen definiert werden, die die zugrundeliegenden Geometrien ändern. Beispielsweise wird ein Abschnitt für eine Erhaltungsmaßnahme definiert, der eine neue Aufteilung der modellierten Straßenabschnitte erfordert. Mit Hilfe einer geometrischen Operation, muss dann das 3D-Modell geteilt werden. Anschließend können in einem weiteren Aktualisierungsschritt neue geometrische Informationen zur Maßnahme inkl. deren einzelnen Aufgaben in Form eines As-built-Informationcontainers eingespielt werden. Der As-built-Informationcontainer enthält dann auch die vollständige Dokumentation inkl. durchgeführter Aufgaben, Abnahmen und gegebenenfalls Mängel. Durch die Aufteilung des Ausgangsmodells kann beispielsweise eine

Abfrage über das Portal erfolgen, einen Straßenabschnitt zum aktuellen Zeitpunkt zu visualisieren oder auch eine zeitliche Veränderung darzustellen (vgl. Abbildung 5-7).

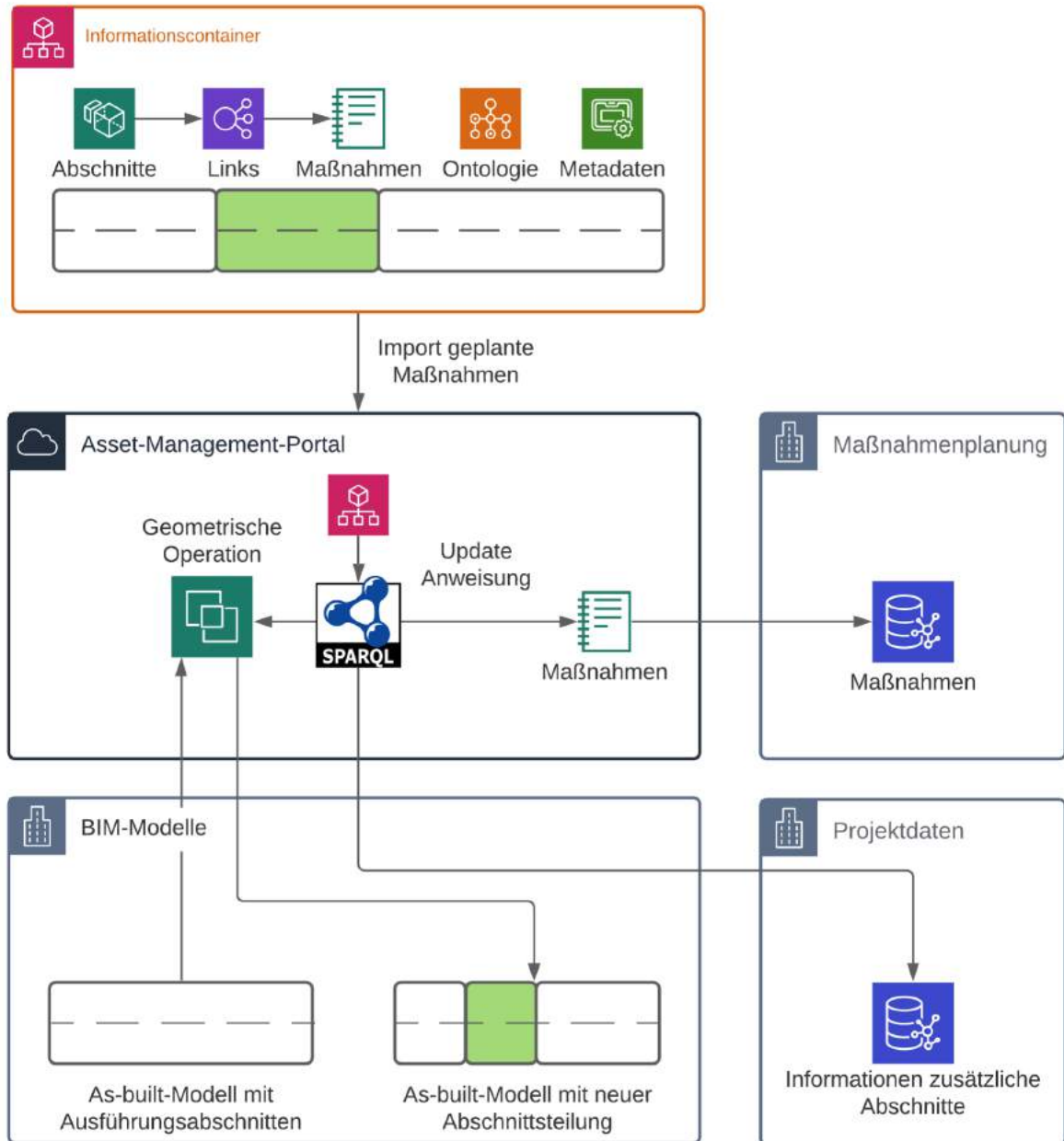


Abbildung 5-7: Konzept zur Aufteilung eines Straßenmodells auf Basis von Maßnahmenabschnitten

Zur Abfrage von Geometrien kann beispielsweise GeoSPARQL (Geographic Query Language for RDF Data) verwendet werden. Die Aktualisierung von geometrischen Informationen eines 3D-Modells ist aktuell noch nicht standardisiert und müsste entsprechend entwickelt werden. Grundsätzliche Ansätze sind auch in GeoSPARQL zu finden (z. B. Berechnung der Differenz



von zwei geometrischen Objekten). Entsprechende Implementierungen auf Basis von digitalen Modellen im IFC-Format sind aktuell in der Entwicklung¹⁸. In Abb. 2-4 ist ein Konzept dargestellt, wie zwei unterschiedliche Straßenmodelle eines Abschnittes gespeichert und abgefragt werden könnten.

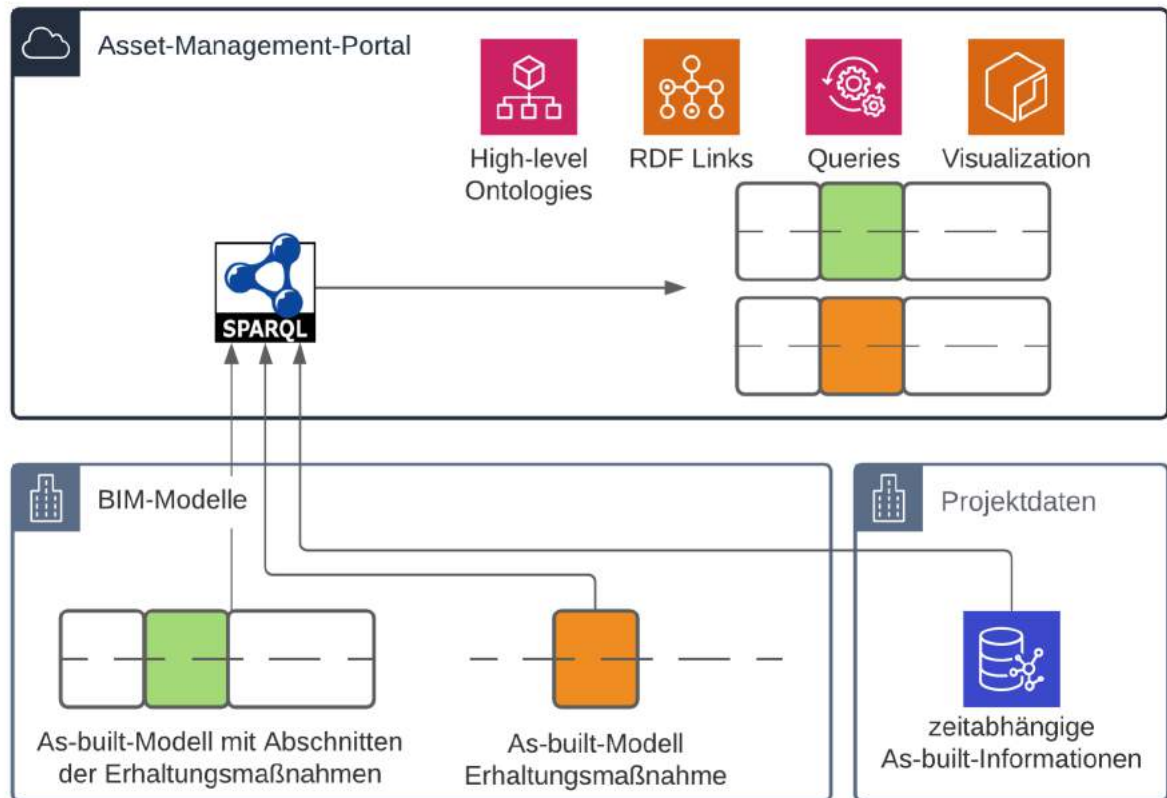


Abbildung 5-8: Konzept zur Abfrage von zwei Versionen eines Straßenabschnitts als zwei getrennte BIM-Modelle

Die sichere und einfache Verknüpfung von verschiedenen Datenquellen und Diensten ist auch Ziel von GAIA-X¹⁹. GAIA-X ist ein Projekt zum Aufbau einer leistungs- und wettbewerbsfähigen, sicheren und vertrauenswürdigen Dateninfrastruktur für Europa. Offenheit, Transparenz und europäische Anschlussfähigkeit sind zentrale Anforderungen an GAIA-X. Aus der Vernetzung dezentraler Infrastrukturdienste entsteht eine Dateninfrastruktur, die zu homogenen, nutzerfreundlichen Systemen zusammengeführt werden können, in dem Daten sicher und vertrauensvoll verfügbar gemacht und geteilt werden. Im Ergebnis entsteht

¹⁸ Stepien, M.; Vonthron, A.; König, M. 2021: An Approach for Cross-Data Querying and Spatial Reasoning of Tunnel Alignments. 28th EG-ICE 2021 Workshop on Intelligent Computing in Engineering, accepted paper

¹⁹ <https://www.data-infrastructure.eu/>

ein förderiertes, vertrauenswürdiges, benutzerfreundliches und homogenes Gesamtsystem. Das GAIA-X-Ökosystem wird dabei auf regulatorischen, sektorspezifischen und technischen Standards basieren und gemeinsame Werte und relevante Regulierungen der EU und ihrer Mitgliedsstaaten beinhalten. GAIA-X ermöglicht eine breitere Verfügbarkeit von Daten, da es gemeinsam genutzte Datensätze erschließt. Durch die Nutzung von Daten über Sektorengrenzen hinweg wird eine neue Generation intelligenter Services möglich.

Die Nutzung von GAIA-X für das Infrastrukturmanagement wurde in einem ersten sehr groben Konzept bereits diskutiert. Der GAIA-X Anwendungsfall InfraX solle digitale Zwillinge (als virtuelle Repliken physischer Assets) von Infrastrukturbauwerken erstellen (vgl. Abbildung 5-9). InfraX sammelt dabei keine eigenen Daten, sondern konsolidiert systematisch Daten aus verschiedenen Quellen und hilft so den zuständigen Behörden und Verwaltungen bei der täglichen Arbeit. Alle Inputdaten (wie z. B. Bauwerksprüfungsberichte, Fotos, Sensor- oder Laserdaten) werden dem digitalen und prädiktiven Zwilling eines jeden Bauwerks zugeordnet. Infolgedessen können die Benutzer selbst Simulationen durchführen und präzise Empfehlungen erhalten, die auf der automatisierten Vorhersage und Bewertung der Bauwerke sowie deren verbleibenden Lebensdauer basieren.

Weiterhin hat Schweiz im Jahre 2020 eine Cloud-Strategie für den Aufbau von digitalen Infrastrukturen und der Nutzung von Cloud-Service veröffentlicht (ref). Der Datenschutz und die Sicherstellung der Verfügbarkeit von Daten ist ein zentraler Aspekt für die öffentlichen Verwaltungen, daher ist der Aufbau eines Cloud-Dienstes auf Basis eines Hybrid- und Multi-Cloud Modells bis 2025 vorgesehen. Weiterhin werden die Abklärung und Prüfung eine Beteiligung an GAIA-X in Hinblick auf zwischenstaatliche Zusammenarbeit bei Cloud-Dienstleistungen weitergeführt. Die unterschiedlich geplante Entwicklung von Cloud-Modellen sollen eine sichere Nutzung und weitreichende Verfügbarkeit von Daten ermöglichen, wobei die Datenverwaltung in Vordergrund steht. Weiterführende Funktionen und die Visualisierung von verfügbaren Daten werden in Abhängigkeit der Anforderungen der jeweiligen Organisation spezifiziert und entsprechend entwickelt.

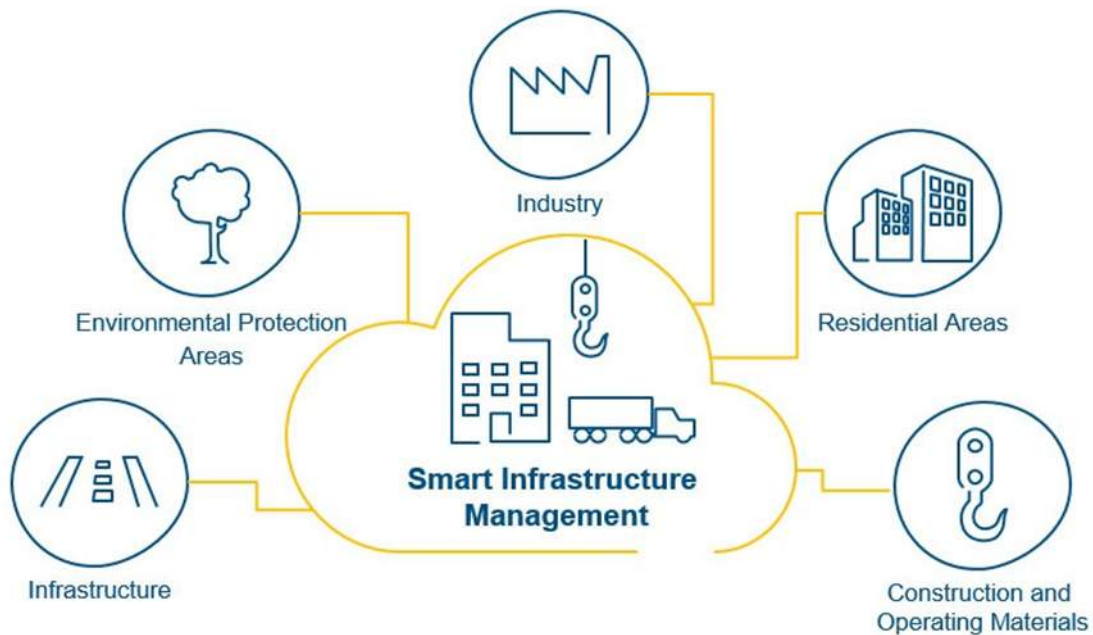


Abbildung 5-9: Konzept zur Nutzung von GAIA-X für das Infrastrukturmanagement (Gaia-X Hub Germany 2022)

5.5 Kapitelzusammenfassung

Im Rahmen dieses Kapitels wurden Konzepte zur Datenhaltung von bautechnischen Daten für das Asset-Management auf verschiedenen Nutzungsebenen vorgestellt. Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist eine Ontologie für baustofftechnische Daten. Des Weiteren ist ein standardisierter Datenaustausch auf Basis von Informationscontainern unter Beachtung der Ontologie erforderlich. Bei der Umsetzung als Data Warehouse Ansatz müssen die Systeme auf allen Nutzungsebenen eine Komponente zur Verwaltung von digitalen Straßenmodellen besitzen. Die Daten werden redundant vorgehalten, damit die Systeme unabhängig voneinander betrieben werden können. Eine große Herausforderung ist die konsistente Datenhaltung in den verschiedenen Systemen. Hierzu müssen geeignete Aktualisierungskonzepte – am besten in Echtzeit – realisiert werden. Eine Alternative ist die Umsetzung eines Asset-Management-Portals, so dass alle Informationen nur einmal gespeichert und jeder dezentral verknüpft und gepflegt werden müssen. Die verschiedenen Datenquellen werden über ein einheitliches Portal gekoppelt. Bei der Umsetzung eines



solchen Portals können sehr einfach und flexibel neue Datenquellen und zusätzliche Dienste integriert werden. Hierzu müssen jedoch alle Dienste auf den gleichen Schnittstellen aufbauen. Zu diesem Zwecke können die definierten Ontologien und Verknüpfungskonzepte auf Basis der EN ISO 21597-2 verwendet werden. Zukünftig sollten auch die Ansätze von GAIA-X auf deren Anwendbarkeit erneut geprüft werden. Dadurch wird eine sichere und dezentrale Bereitstellung von Daten und Diensten in Zukunft in Europa ermöglicht.

6 EXEMPLARISCHE ANWENDUNG

6.1 Allgemeines

In diesem Kapitel erfolgen die exemplarische Anwendung und Erprobung der entwickelten Methodik. Dazu werden zunächst das Konzept zur Umsetzung der Methodik (vgl. Kapitel 6.2) und die zugrundeliegende Datengrundlage erläutert (vgl. Kapitel 6.3). Das Kernelement zur Umsetzung der Anwendungsfälle ist der entwickelte IT-Prototyp (ICDD-Plattform), der für den Datenaustausch mittels Informationscontainer entwickelt wurde (vgl. Kapitel 6.4). Schließlich werden die Arbeitsschritte und Details zur Anwendung am Beispiel des Anwendungsfalls einer Erhaltungsmaßnahme mit den damit verbundenen baustofftechnischen Daten sowie der Umsetzung von Daten aus Bohrkernuntersuchungen im Rahmen von Abnahmeprüfungen erläutert (vgl. Kapitel 6.5).

6.2 Umsetzungskonzept

Umsetzung 3D BIM Modell

Am Beispiel eines begrenzten Straßenabschnitts wird ein BIM-Modell (Bauwerksmodell) erstellt und im IFC-Datenformat als Grundlage für den IT-Prototyp (ICDD-Plattform) zur Verfügung gestellt. Als Ausgangsmodell dient ein Bestandmodell einer Straße. Die Modellerstellung erfolgt mit den unter Kapitel 4.4.1 angeführten Modellierungsdetails. Das Bauwerksmodell enthält zwei Fahrstreifen und die Schichten des Oberbaus, unterteilt in

- Deckschicht,
- Tragschicht und
- Frostschutzschicht.

In Längsrichtung sind die Fahrstreifen inkl. der Schichten des Oberbaus mit 20 m Modellelementen abgebildet. An die jeweiligen Schichten werden zur Abbildung der linearen Referenzierung allgemein gültige und die länderspezifischen Ordnungssysteme, mit PropertySets angehängt - vgl. hierzu Kapitel 4.3.1. Ergänzend zu den PropertySets zur Umsetzung der linearen Referenzierung werden PropertySets mit Merkmalen zur Beschreibung des Fahrbahnaufbaues, bezüglich Herstellungszeitpunkt, Abbruch und zur detaillierten Beschreibung der eingebrachten Materialien an die baulichen Elemente angehängt.

Informationen zur Zustandserfassung (Update I) werden an virtuellen Schichten angehängt, die räumlich über der Deckschicht im Bauwerksmodell liegen. Die Granularität der virtuellen Schichten für die Zustandserfassung ist identisch mit jener der Schichten des Oberbaus.



Informationen zur Maßnahmenplanung werden ebenfalls an virtuelle Schichten mit einer Länge von 400 m und unterteilt je Fahrstreifen angehängt.

6.3 Datengrundlage

Für die exemplarische Anwendung erfolgte eine modellhafte Abbildung der in der Realität vorhandenen Ausgangslage der Datenhaltung inklusive der Datenstrukturen im Asset Management sowie der notwendigen Schnittstelle zum Projektmanagement im Bereich der Bauprojektausführung. Dies beinhaltete einerseits für das Asset Management eine Erstellung einer um Bohrkerndaten erweiterten Asset-Management-Datenbank (vgl. Kapitel 6.3.1) sowie die Bereitstellung von Modelldaten eines bestehenden Straßenabschnitts sowie baustofftechnische Daten aus Bohrkernentnahmen. Andererseits wurde für das Projektmanagement ein IFC-Modell als Bauwerksmodell (vgl. Kapitel 6.3.2) dieses Straßenabschnitts und eines Bohrkerndaten für verschiedene Anwendungsfälle mit den relevanten baustofftechnischen Daten des Straßenoberbaus erstellt.

6.3.1 Datengrundlage und Datenbank

Der Fokus bei der exemplarischen Anwendung für den Datenaustausch liegt auf dem Objekttyp Straßen. Deshalb wurde eine Straßendatenbank mit Beispieldaten für einen einzelnen betrachteten Straßenabschnitt einer Fahrbahn mit je einem Richtungsfahrstreifen erstellt. Die folgenden Informationen sind dafür relevant und wurden für einen fiktiven Straßenabschnitt generiert:

- Lokalisierung eines Straßenabschnitts
- Bauprojektdateien für einen Straßenabschnitt
- Aufbaudaten des Straßenabschnitts
- Inspektionsdaten des Fahrbahnabschnitts
- und Bohrkerndaten aus einer Kontrollprüfung nach einer Erhaltungsmaßnahme oder im Rahmen von materialtechnischen Untersuchungen.

Die gewählte Datenstruktur entspricht einer vereinfachten, grundlegenden Struktur von Straßendatenbanken mit PMS-Erweiterung. Von Bedeutung ist, dass neben der klassischen Struktur für Straßendaten zusätzlich baustofftechnische Daten berücksichtigt werden können. Diese wurden für die exemplarische Anwendung mit Bohrkerndaten umgesetzt.

Die Datenbank ist in verschiedenen Tabellen gegliedert, welche die klassischen Elemente einer relationalen Datenbank im Bereich der Straßendaten beinhalten. In der Regel ist das Informationsbedürfnis bei Straßenbauverwaltungen weit umfangreicher, wodurch weitere



Tabellen notwendig werden. Es wurde sich aber für die exemplarische Anwendung auf die für diesen Zweck relevanten Tabellen beschränkt (vgl. Abbildung 6-1).

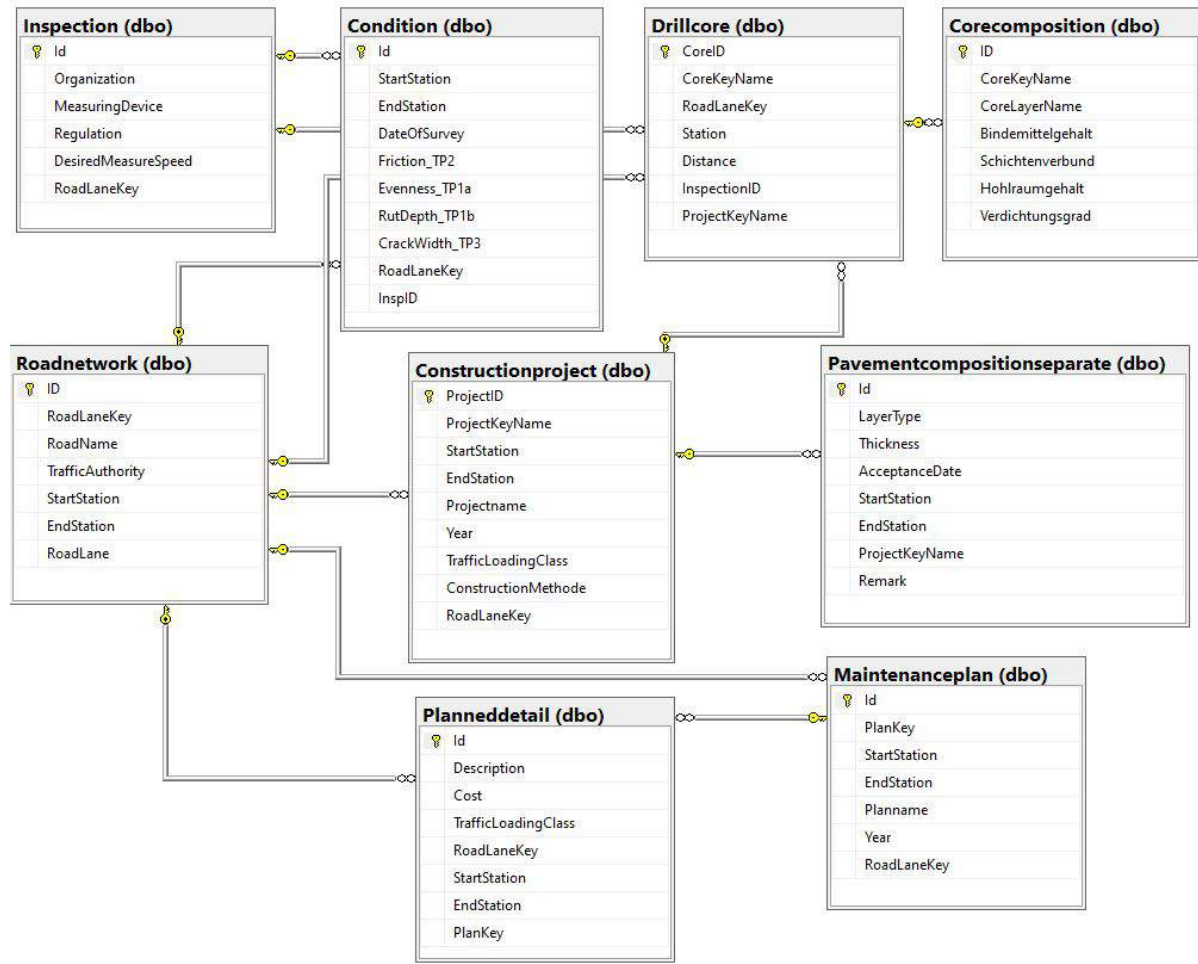


Abbildung 6-1: Pilot-Straßendatenbank für exemplarische Anwendung

LINEARE REFERENZIERUNG (ROADNETWORK)

Die lineare Referenzierung wird durch die Betriebskilometer einer Straße realisiert und ermöglicht die Verortung eines beliebigen Segments auf einem definierten Fahrstreifen der Fahrbahn. Es wurden folgende Attribute definiert:

- ID (Achsen-ID)
- RoadLaneKey (Richtung entlang der Achse)
- RoadName (Straßenname)
- TrafficAuthority (Straßenbetreiber)
- StartStation (Straßenabschnitt Anfang)



- EndStation (Straßenabschnitt Ende)
- RoadLane (Fahrstreifennummer)

BAUPROJEKT (CONSTRUCTIONPROJECT)

Die ausgeführten Bauprojekte, welche mit dem Schichtenaufbau im Zusammenhang stehen, werden in ihrer Lage, dem Ausführungsjahr, der Dimensionierungsgrösse Schwerverkehrsbelastung und der Bauweise sowie ihrer Referenzierung hinterlegt.

- ProjectID
- ProjectKeyName (Bauprojektabkürzung)
- StartStation (Bauabschnitt Anfang)
- EndStation (Bauabschnitt Ende)
- Projectname (Bauprojektname)
- Year (Jahr der Ausführung)
- TrafficLoadingClass (Schwerverkehrsklasse)
- ConstructionMethode (Bauweise)
- RoadLaneKey (Zuordnung zu einer Richtung entlang der Achse)

AUFBAU (PAVEMENTCOMPOSITIONSEPARATE)

Der Aufbau ermöglicht die Beschreibung der Straßenoberbaukonstruktion. In der Datenbank wurde eine Version umgesetzt, bei welcher jede einzelne Schicht als Element mit Anfang und Ende definiert ist. Vereinfacht wird nur der Schichttyp als Attribute definiert. Zusätzliche Informationen werden über eine zwingende Zuordnung zu einem Bauprojekt verknüpft.

- ID (Schicht-ID)
- LayerType (Schichttyp)
- Thickness (Dicke der Schicht)
- AcceptanceDate (Abnahmedatum)
- StartStation (Schichtabschnitt Anfang)
- EndStation (Schichtabschnitt Ende)
- ProjectKeyName (Zuordnung zu einem Bauprojekt)
- Remark (Bemerkungen)

ÜBERWACHUNG (INSPECTION)

Informationen von Kampagnen der Zustandserfassungen und -bewertungen werden in der Tabelle Inspection mit folgenden Attributen beschrieben:



- ID (Inspektions-ID)
- Organization (Auftragnehmer Messkampagne)
- MeasuringDevice (Messfahrzeug)
- Regulation (zugrundegelegte Richtlinie für die Zustandserhebung und -bewertung)
- DesiredMeasureSpeed (Messgeschwindigkeit)
- RoadLaneKey (Zuordnung zu einer Richtung entlang der Achse)

ZUSTAND (CONDITION)

Der Zustand der Fahrbahnoberfläche wird mit allen definierten Zustandsmerkmalen in einer Tabelle gespeichert. Vereinfacht wird angenommen, dass die Erhebung aller Zustandsmerkmale gleichzeitig erfolgte.

- ID (ID Zustandsabschnitt)
- StartStation (Zustandsabschnitt Anfang)
- EndStation (Zustandsabschnitt Ende)
- Date (Datum der Messung)
- Friction_TP2 (Zustandswert Griffigkeit)
- Evenness_TP1a (Zustandswert Längsebenheit)
- RutDepth_TP1b (Zustandswert Querebenheit)
- CrackWidth_TP3 (Zustandswert Risse)
- RoadLaneKey (Zuordnung zu einer Richtung entlang der Achse)
- InspID (Zuordnung zu einer Inspektions-ID)

BOHRKERNENTNAHMEN (DRILLCORE)

Vor einer Baumassnahme oder zur Abnahme von Bauleistungen werden Bohrkernentnahmen gemacht. Dafür werden folgende Informationen in einer Tabelle abgelegt.

- CoreID (Bohrkern-ID)
- CoreKeyName (Bohrkern-Name)
- RoadLaneKey (Zuordnung zu einer Richtung entlang der Achse)
- Station (Referenzierung entlang der Achse)
- InspectionID (Zuordnung zu einer Inspektion)
- ProjectKeyName (Zuordnung zu einem Bauprojekt)

BOHRKERNENTNAHMEN (CORECOMPOSITION)

In einer separaten Tabelle werden die detaillierten Baustoffdaten gespeichert, wodurch es möglich wird, diese zu jeder einzelnen Schicht des entnommenen Bohrkerns zuzuordnen.

- ID (Baustoffdaten-ID)
- CoreKeyName (Zuordnung zu einem Bohrkern-Name)
- CoreLayerName (Definition eines Bohrkernlayers)
- Bindemittelgehalt (Baustoff-Attribut)
- Schichtenverbund (Baustoff-Attribut)
- Hohlraumgehalt (Baustoff-Attribut)
- Verdichtungsgrad (Baustoff-Attribut)

MASSNAHMENPLANUNG (MAINTENANCEPLAN)

Für die Massnahmenplanung besteht die Möglichkeit in einem Erhaltungsabschnitt mehrere Massnahmen zu vereinen. Deshalb werden folgende Attribute für den Erhaltungsabschnitt definiert und die Massnahmen in einer weiteren Tabelle verknüpft.

- ID (ID Erhaltungsabschnitt)
- PlanKey (Code Erhaltungsplanung)
- StartStation (Erhaltungsabschnitt Anfang)
- EndStation (Erhaltungsabschnitt Ende)
- Planname (Bezeichnung Erhaltungsplanung)
- Year (geplantes Jahr)
- RoadLaneKey (Zuordnung zu einer Richtung entlang der Achse)

MASSNAHMENDETAILS (PLANNEDDETAILS)

Die geplanten Massnahmen in einem Erhaltungsabschnitt werden mit Vorortung, Kosten und Schwerverkehrsklasse hinterlegt.

- ID
- Description
- Cost (geschätzte Kosten der Massnahmen)
- TrafficLoadingClass (Schwerverkehrsklasse)
- RoadLaneKey (Zuordnung zu einer Richtung entlang der Achse)
- StartStation (Massnahmenabschnitt Anfang)
- EndStation (Massnahmenabschnitt Ende)
- PlanKey (Zuordnung zur Erhaltungsplanung in einem Erhaltungsabschnitt)



6.3.2 IFC-Modell (Bauwerksmodell)

Das Bauwerksmodell der Straße wurde in der Autorensoftware Civil3D von Autodesk erstellt und im Format IFC2x3 als Grundlage für die Anwendung im Prototyp exportiert. Für den Datenaustausch zur digitalen Beschreibung von Straßenbauwerken gibt es derzeit noch kein entsprechendes IFC-Format. Die Erweiterung für IFC Road ist erst in IFC4.3 enthalten und wurde noch nicht publiziert. Vielmehr ist diese Erweiterung in den Autorensoftware noch nicht vollständig implementiert. Für die Erstellung des Bauwerksmodells werden daher die baulichen Elemente als IFC-Klasse `ifcBuildingelementProxy` exportiert.

Für eine entsprechende Klassifizierung der baulichen Elemente im Bauwerksmodell werden allgemein gültige Eigenschaften zur Projektstrukturierung (Funktionsgliederung, topologische Gliederung) und zur Definition von Semantik (Benennung der Elemente) in dem PropertySet „Mset_BIM4AMS_LinRef_common“ zusammengefasst und an jedes Element angehängt.

| Mset_BIM4AMS_LinRef_common | |
|----------------------------|--------------------|
| Element | Tragschicht |
| Element_Spezifikation | Frostschuttschicht |
| Teilgewerk | Oberbau |
| Gewerk | Aufbau |
| Fachdisziplin | Strasse |

Abbildung 6-2: Allgemeine Merkmale zur topologischen Gliederung und Definition der Semantik mit Beispieldaten

Zur Abbildung der länderspezifischen Ordnungssysteme werden zusätzlich länderspezifische Propertysets an die baulichen Elemente angehängt – vgl. hierzu Kap. 4.3.1. Ergänzend zu den PropertySets zur Umsetzung der linearen Referenzierung wurden PropertySets mit Merkmalen zur Beschreibung des Fahrbahnaufbaues, bezüglich Herstellungszeitpunkt, Abbruch und zur detaillierten Beschreibung der eingebrachten Materialien und der zugehörigen Prüfungen an die baulichen Elemente angehängt (vgl. Abbildung 6-15 bis Abbildung 6-18).

| Mset_BIM4AMS_Schicht_allgemein | |
|--------------------------------|----------------|
| Schichtart | Deckschicht |
| Mischgutsorte | AC 11 DS |
| mittlere Einbaudicke | 12 |
| Einbaudatum | 1992:06:21 |
| Abnahmedatum | 1992:06:24 |
| Verjährungsfrist | 1997:06:24 |
| mittlere Einbaumenge | 9.648774377791 |
| Abbruch | On |
| Gueltigkeit_End | 2021:12:14 |

Abbildung 6-3: Allgemeine Merkmale zum Fahrbahnaufbau mit Beispieldaten

| Mset_BIM4AMS_Mischgut_Aspphalt_Erstprüfung | |
|--|---------------------|
| Art der Zusaetze | - |
| Art und Anteil Asphaltgranulat | 20 % |
| B | 6.5 |
| ET_dyn | 3.2 |
| Adhaesionsvermoegen | mittel |
| Hersteller Gesteinskoernung | Steinbruch A |
| Hersteller Mischgut | Asphaltmischwerke B |
| HA_MPK | 2.8 |
| Menge der Zusaetze | 0.02 |
| Mischgutart | Asphaltbeton |
| rho_A_MPK | 2.319 |
| ET_stat | -99999999 |
| RD_Luft | 4.1 |
| rho_R_bit | 2.386 |

Abbildung 6-4: Merkmale Asphalt, Erstprüfung mit Beispieldaten

| Mset_BIM4AMS_Bindemittel_Erstprüfung | |
|--------------------------------------|-------------|
| Bindemittelsorte | 25/55-55 RC |
| ElaRueck | 25 |
| EP_RuK | 52 |
| PEN | 45 |
| rho_R_Bindemittel | 1.082 |

Abbildung 6-5: Merkmale Bindemittel, Erstprüfung mit Beispieldaten

| Mset_BIM4AMS_Gestein_Erstprüfung | |
|----------------------------------|--|
| Eigenfeuchte | 2.5 |
| Feinanteil | 1.5 |
| FTW < 4mm | 2 |
| FTW > 4mm | 1 |
| Frostwiderstand | 4 |
| Gesteinsart | Diabas |
| SI | 3 |
| KGV | 8,6; 10,3; 15,2; 32,4; 45,4; 66,6; 81,5; 99,3; 100 |
| Quellfähigkeit | ok |
| PSV < 4mm | 54 |
| PSV > 4mm | 54 |
| SZ | 27 |
| rho_R_Gestein | 2.846 |

Abbildung 6-6: Merkmale Gestein, Erstprüfung mit Beispieldaten

UPDATE III-1: BESTANDSMODELL ASBUILT

Als Ausgangspunkt wurde ein Bestandsmodell AsBuilt erstellt. Dieses zeigt den Zustand des Bauwerks nach Abschluss der Baumaßnahmen. Es beinhaltet detaillierte Informationen zur Ausführung und zu den verwendeten Materialien. Das Bestandsmodell AsBuilt dient als Grundlage zur Darstellung und ggf. Bewertung des Bauwerkszustandes im Modell (Update I), zur Maßnahmenplanung (Update II) und zur Fortschreibung des Modells im Falle von Instandsetzungsmaßnahmen (Update III).

Dieses Ausgangsmodell besteht aus den folgenden Teilmodellen:

- BIM4AMS_UpdateIII-1_Bestandsmodell_AsBuilt.ifc
Abbildung der baulichen Elemente der Straße
- BIM4AMS_Bohrkerne.ifc
Abbildung aller Bohrkerne
- BIM4AMS_Gelaende_Endzustand.ifc
Abbildung des fertigen Geländes
- BIM4AMS_LinRefSystem.ifc
Abbildung der Straßenachse und Referenzpunkte

UPDATE I: ZUSTANDSERFASSUNG

An die virtuellen Schichten für die Zustandserfassung wurden folgende Informationen als PropertySet angehängt:

| Mset_BIM4AMS_Semantik-Topologie | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Projekt | BIM4AMS |
| Gewerk | Straße |
| Bauwerk | Autobahn |
| BauwerkBezeichnung | A2 Südautobahn |
| Bauwerksteil | Richtungsfahrbahn |
| BauwerksteilBezeichnung | Wien - Graz |
| Abschnitt_raeumlich | - |
| Abschnitt_raeumlichBezeichnung | - |
| ElementKategorie | Strassenbau |
| ElementName | Informationsträger Zustandserfassung |
| Referenzachse | BIM4AMS_Strassenachse_1 |

Abbildung 6-7: Merkmale zur Beschreibung von Semantik / Topologie mit Beispieldaten

| Mset_BIM4AMS_ZEB-Kampagne | |
|---------------------------|------------------|
| Bezeichnung | Kampagne 2014/15 |
| Kurzbezeichnung | Bundesland A |
| Umfang | Bundesstrasse |

Abbildung 6-8: Merkmale ZEB-Kampagne mit Beispieldaten

| Mset_BIM4AMS_ZEB_Teilprojekt | |
|------------------------------|--------------------------|
| TP_Bezeichnung | TP 1 |
| TP_Kurzbezeichnung | alle |
| TP_Erfasser | Erfasser A-Messtechnik |
| TP_Hauptmessverfahren | Seitenkraftmessverfahren |

Abbildung 6-9: Merkmale ZEB-Teilprojekt mit Beispieldaten

| Mset_BIM4AMS_ZEB_Teil-und Gesamtwerte | |
|--|-----|
| Teilzielwert_Gebrauch_TWGEb | 2.4 |
| Teilzielwert_Substanz_TWSUB | 3.3 |
| Gesamtwert_GW | 3.3 |
| Gebrauchsindex_Sicherheit_GWSicherheit | 2.3 |
| Gebrauchsindex_Komfort_GWKomfort | 2.7 |
| Substanzindex_Decke_SIDecke | 3 |
| Substanzindex_Tragf_SITragf | 3.1 |
| Gebrauchswert_GI | 2.7 |
| Substanzwert_SI | 3.1 |
| Index_GI1 | 1.7 |
| Index_GI2 | 2.1 |
| Index_GI3 | 2.2 |
| Index_GI4 | 1.5 |
| Index_GI5_0-5 | 2.2 |
| Index_GI5_1-5 | 2.2 |

Abbildung 6-10: Merkmale ZEB-Teil- und Gesamtwerte mit Beispieldaten

| Mset_BIM4AMS_ZEB_Zustandswerte_Asphalt | |
|--|-----|
| Zustandswert_Allgemeine_Unebenheiten_ZWAUN | 2.5 |
| Zustandswert_Laengsebenheitswirkindex_ZWLWI | 2.3 |
| Zustandswert_Bewertetes_Laengsprofil_ZWBLP | 2.1 |
| Zustandswert_Mittlere_Spurrinnentiefe_ZWMSPT | 2 |
| Zustandswert_Fiktive_Wassertiefe_ZWMSPH | 1.5 |
| Zustandswert_Griffigkeit_ZWGRI | 1.9 |
| Index_Oberflaechenschaeden_I0 | 2.2 |
| Index_Oberflaechenschaeden_I1 | 2.1 |
| Index_Ebenheit in Laengsrichtung_I2 | 1.7 |
| Index_Ebenheit in Querrichtung_I3 | 2.3 |
| Index_Griffigkeit_I4 | 1.8 |
| Index_Tragfaehigkeit_I5 | 3 |
| Zustandswert_Oberflaechenschaeden | 2.5 |
| Zustandswert_Risse | 2.7 |
| Zustandswert_Tragfaehigkeit_ZWTRAG_TSD | 2.8 |
| Zustandswert_Tragfaehigkeit_ZWTRAG_FWD | 2.8 |
| Zustandswert_Makrotextur_ZWMPD | 1.9 |
| Zustandswert_Schalldruckpegel_ZWLP | 2.3 |
| Zustandswert_Leuchtdichte_ZWLV | 2.8 |
| Zustandswert_Risse_ZWRISS | 3 |
| Zustandswert_Offene_Arbeitsnaht_ZWONA | 1.5 |
| Zustandswert_Flickstellen_ZWFLI | 3.3 |
| Zustandswert_Eingelegt_Flickstellen_ZWEFLI | 3.3 |
| Zustandswert_Aufgelegte_Flickstellen_ZWAUFLI | 3.3 |
| Zustandswert_Ausbrueche_ZWAUS | 3.2 |
| Zustandswert_Bindemittelanreicherung_ZWBIN | 2.6 |
| Zustandswert_RestschadensflaecheAsphalt_ZWRSFA | 2.8 |

Abbildung 6-11: Merkmale ZEB-Zustandswerte Asphalt mit Beispieldaten

Die Informationen zum Update I werden im folgenden IFC-Modell abgelegt:

- BIM4AMS_Update_I-Zustandserfassung_VirtuelleSchichten.ifc

UPDATE II – 2: MASSNAHMENPLANUNG

An die virtuellen Schichten für die Maßnahmenplanung wurden folgende Informationen als PropertySet angehängt:

| Mset_BIM4AMS_Semantik-Topologie | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Projekt | BIM4AMS |
| Gewerk | Straße |
| Bauwerk | Autobahn |
| BauwerkBezeichnung | A2 Südatautobahn |
| Bauwerksteil | Richtungsfahrbahn |
| BauwerksteilBezeichnung | Wien - Graz |
| Abschnitt_raeumlich | Erhaltungsabschnitt |
| Abschnitt_raeumlichBezeichnung | Erhaltungsabschnitt 3.1 |
| ElementKategorie | Strassenbau |
| ElementName | Informationsträger Maßnahmenplanung |
| ElementTyp | - |
| ElementSubTyp | - |
| ElementBezeichnung | - |
| Referenzachse | BIM4AMS_Strassenachse_1 |

Abbildung 6-12: Merkmale zur Beschreibung von Semantik / Topologie mit Beispieldaten

| Mset_BIM4AMS_Massnahmenplanung | |
|--------------------------------|--|
| Art der Massnahme | I1 |
| Kosten | 250000 |
| Jahr der Massnahme | 2024 |
| Ursache für Massnahme | starke Rissbildung mit teilweise Ausmagerungen |

Abbildung 6-13: Merkmale zur Maßnahmenplanung mit Beispieldaten

Die Informationen zum Update II werden im folgenden IFC-Modell abgelegt:

- BIM4AMS_Update_II-Massnahmenplanung_VirtuelleSchichten.ifc

UPDATE III – 2: BESTANDSMODELL ABBRUCH

Das Abbruchmodell ist weitgehend ident mit dem Bestandsmodell. Für abzubrechende Elemente wurden im PropertySet „Mset_BIM4AMS_Schicht_allgemein“ das Merkmal „Abbruch“ auf den Wert „On“ geändert und im Merkmal „Gueltigkeit_Ende“ das Abbruchdatum eingetragen. Dadurch können im Koordinationsmodell abzubrechende Elemente ausgeblendet werden.

Die Informationen zum Update III - 2 werden im folgenden IFC-Modell abgelegt:

- BIM4AMS_Update_III-2_Bestandsmodell_Abbbruch.ifc



UPDATE III – 3: BESTANDSMODELL INSTANDSETZUNG

Das Instandsetzungsmodell beinhaltet jene Elemente, welche im Zuge einer Sanierung neu hergestellt wurden. Im Koordinationsmodell können diese Elemente anstelle der abgebrochenen Elemente (update III – 2: Bestandsmodell Abbruch) dargestellt werden.

Die Informationen zum Update III - 3 werden im folgenden IFC-Modell abgelegt:

- BIM4AMS_Update_III-3_Bestandsmodell_Sanierung.ifc

6.4 IT-Prototyp und ICDD-Plattform

Der Informationscontainer for linked Document Delivery (ICDD) gemäß ISO 21597 ist eine Datenstruktur, die für die Handhabung einer Vielzahl von miteinander verbundenen Dokumenten vorgesehen ist. Die Dokumente innerhalb des Containers sind strukturiert und die Daten sind gemäß der ICDD-Spezifikation miteinander verknüpft. Alle im Container gespeicherten Informationen werden als Teil eines Containers mit Hilfe von Ontologien in einen Gesamtkontext semantisch beschrieben.

Für die Realisierung der Informationscontainer wird eine web-basierte BIM4AMS-Plattform entwickelt. Die Plattform kann sowohl die IAMS-Daten in Verbindung mit einem BIM-Modell darstellen als auch die neuen oder geänderten Daten mittels einer Ingenieuraktivität in den IAMS aktualisieren. Das von dem Prototyp unterstützte BIM-Modell soll in einem IFC-Format vorliegen. Aus diesem Grund wird eine Toolbox in dem Prototyp verwendet, die das Laden, Erstellen und Bearbeiten von sog. Step Physical Files oder XML-Dateien ermöglicht. Für die Organisation der Daten und der ICDD bietet die Plattform Funktionen zum Anlegen von Projekten und Informationscontainern. Darüber hinaus sind die Funktionalitäten zum Bearbeiten, Ändern und Löschen von Containern und Containerinhalten vorhanden.

Die Systemarchitektur des Prototyps zur Realisierung der ICDD-Funktionen lässt sich in drei Komponenten (vgl. Abbildung 6-14) darstellen. In der Komponente "Daten" werden die erstellten Informationscontainer in der vorgesehenen Lagerung zur weiteren Verwendung gespeichert.

In der Komponente "Arbeit & Datenzugriffslogik" sind die relevanten Prozessoren für die Funktionen zum Bearbeiten der ICDD bereitgestellt. Außerdem wird der Datenfluss von der Komponente "Daten" zur Komponente "Präsentation" für den Benutzer gesteuert. Der Container-Prozessor ermöglicht das Erstellen, Bearbeiten und Löschen des Container-Inhalts. Andere mit dem Container-Prozessor verbundenen Prozessoren rufen containerbezogene Daten ab oder senden diese. Der IFC-Prozessor verarbeitet IFC-basierte Modelle, die in der Benutzeroberfläche des Prototyps als Geometrie und Information mit der räumlichen



Hierarchie des IFC-Modells angezeigt werden. Darüber hinaus können IFC-Modelle innerhalb der Plattform mit Hilfe des IFCtoLBD-Konverters in RDF-basierte Datensätze überführt werden. Die SPARQL- und SHACL-Prozessoren sorgen dafür, dass Containerdaten anhand einer erstellten Abfrage gefiltert werden und auf die definierten Bedingungen geprüft werden. Der R2RML-Prozessor realisiert den Datenexport aus der externen Datenbank in den ICDD mit vordefinierten Mapping-Regeln. Die erzeugten RDF-Tripel und Links werden im Container gespeichert.

Unter Komponente "Präsentation" bietet die Benutzeroberfläche eine Schnittstelle zur Darstellung und Interaktion mit allen bereitgestellten Funktionen in der Komponente „Arbeit & Datenzugriffslogik“. Zusätzlich können Abfragen zu ausgewählten IFC-Objekten im Container ohne große SPARQL-Kenntnisse über den IFC-Viewer erstellt werden.

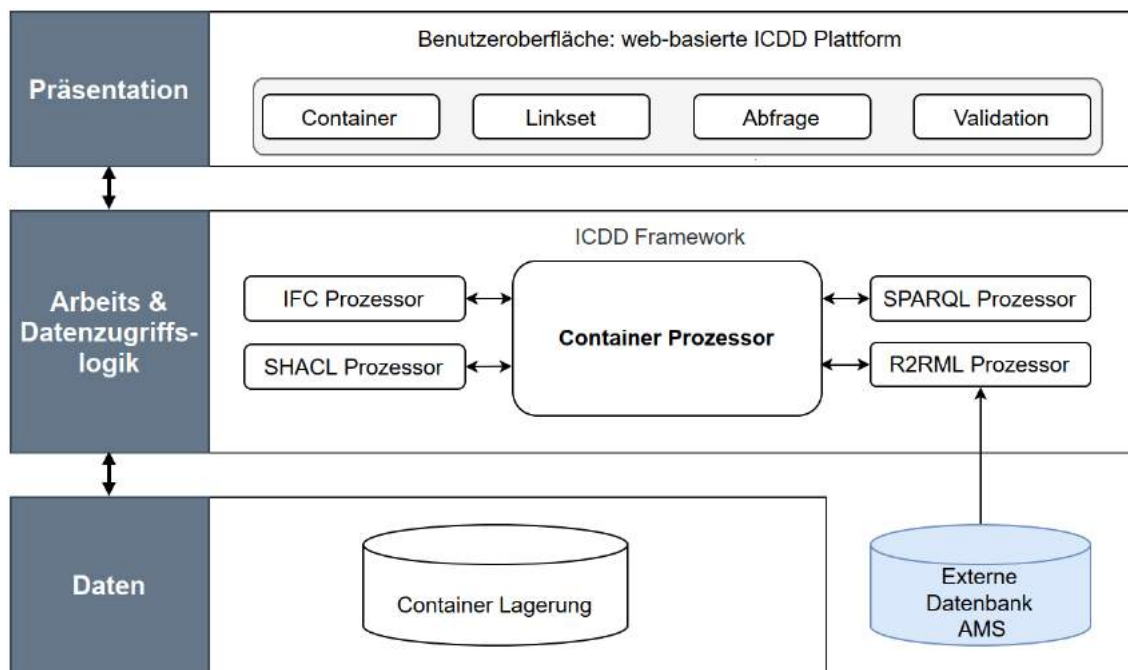


Abbildung 6-14: Systemarchitektur der ICDD-Plattform

6.5 Beispielanwendung der Anwendungsfälle

Ein Beispielprojekt zur Vorbereitung und Dokumentation einer Erhaltungsmaßnahme ist bereitgestellt für Testen des Prototyps. Der Datenaustausch und die dazu verwendeten Informationscontainer sind in folgenden Kapiteln beschrieben.

6.5.1 Technische Vorbereitung für den Anwendungsfall

Relationale Datenbank:

für den Demonstrator wird eine relationale Dummy-Datenbank (DB) für Fahrbahnen erstellt. In dieser Datenbank werden folgende Informationen gespeichert (vgl. Kapitel 6.3.1):

- Lokalisierung eines Straßenabschnitts
- Projektdaten (z. B. Beschreibung einer Erhaltungsmaßnahme) des Straßenabschnitts
- Aufbaudaten des Straßenabschnitts
- Inspektionsdaten des Fahrbahnabschnitts
- und Bohrkerndaten aus einer Kontrollprüfung nach einer Erhaltungsmaßnahme oder im Rahmen von materialtechnischen Untersuchungen.

BIM-Modell:

Die während des Bauprojekts erstellten BIM-Modelle werden in den Anwendungsfall integriert. Eine Reduzierung von dem Fahrbahnmodell, dem Bohrkernmodell in Hinblick auf die geometrischen Objekte und die zugehörigen Merkmale wurde für das Erstellen des Beispielscontainers des betrachteten Anwendungsfalls umgesetzt. Der Umfang wird in dem Containerinhalt beschrieben.

Semantische Informationen:

Die aus der Datenbank exportierten Informationen werden in einem RDF-basierten Datenformat gespeichert. Die Daten basieren auf R2RML und einer domain-spezifischen Ontologie. Die baustofftechnischen Eigenschaften werden mittels vordefinierter Merkmale in das BIM-Modell als Properties zu den IFC-Elementen gespeichert.

6.5.2 Allgemeiner Ablauf des Datenaustauschs

Für den Datenaustausch mittels Informationscontainer zwischen dem Asset Manager und externen Bereitstellern werden die relevanten Informationen zwischen der Datenbank des vorhandenen AMS und dem Informationscontainer transformiert. Zusätzlich können die BIM-Modelle, weitere Dokumente in den Container hochgeladen, gespeichert und miteinander verknüpft werden.

Die Transformation der Daten zwischen der Datenbank und dem Informationscontainer beinhaltet zwei Arbeitsschritte. Für die Vorbereitung eines externen Auftrags wird ein Anforderungscontainer vorbereitet, womit die Daten aus der Datenbank mittels einer Mappingdatei in den Container exportiert werden müssen. In der Mappingdatei sind die SQL-Abfrage zur Datenselektion aus der AMS-Datenbank und die Tripeldefinition mit R2RML für die Konvertierung von RDF-basierten Daten gespeichert. Durch die Verbindung mit der vorhandenen Datenbank und dem in der BIM4AMS-Plattform integrierten R2RM-Prozessor wird der Export der Information umgesetzt.

Nach der Lieferung der Arbeitsergebnisse aus der Bauphase von dem externen Bereitsteller kontrolliert der Asset Manager das gelieferte Ergebnisse auf Vollständigkeit und Plausibilität. Die geprüften Daten können schließlich wieder in die Datenbank importiert werden. Um die Daten aus dem Informationscontainer herauszufiltern, wird eine SPARQL-Abfrage erstellt. Die gefilterten Daten werden in die vorbereiteten passenden SQL-Befehle eingesetzt und in die Datenbank eingespielt.

Im Folgenden werden die zwei Container für den Datenaustausch im Rahmen einer Erhaltungsmaßnahme eines Fahrbahnabschnitts dargestellt. Der Inhalt jedes Containers ist in tabellarischer Form abgebildet, die jeweilige Datei wird anschließend erläutert.

6.5.3 Inhalt des Containers zur „Erhaltungsmaßnahme eines Fahrbahnabschnitts“

1. Anforderungscontainer „Auftrag zur Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme“

In Tabelle 6-1 wird der Inhalt des Containers „Auftrag der Fahrbahnerhaltung“ dargestellt. Zur Vorbereitung der Erhaltungsmaßnahme eines Fahrbahnabschnitts werden die erforderlichen Dateien in den drei Containerordnern entsprechend zugeordnet. Zur Unterstützung der Inhaltsbeschreibung werden die Dateien in jedem der Dokumente durchnummeriert.

Tabelle 6-1: Inhalt des Containers „Auftrag Erhaltungsmaßnahme“

| Auftrag der Erhaltungsmaßnahme | | | |
|--------------------------------|------|---|-------|
| Name: | | Auftrag Erhaltungsmaßnahme | |
| Description: | | Container mit relevanter Information für die Erhaltungsmaßnahme | |
| Folder | Nr | File Name | Type |
| Ontology Resources | 1 | Index.rdf | rdf |
| | 2 | Container.rdf | rdf |
| | 3 | LinkSet.rdf | rdf |
| | 4 | ExtendedLinkset.rdf | rdf |
| | 5 | ExtendedDocument.rdf | rdf |
| Payload Documents | 6 | EUROTL | ttl |
| | 7 | FahrbahnDB | MSSQL |
| | 8 | GeplantErhaltung.Mapping.ttl | ttl |
| | 9 | Modell_Abbruch.ifc | ifc |
| | 10 | Modell_Bestand.ifc | ifc |
| | 11 | [REQ]Modell_Bohrkern.ifc | ifc |
| | 12 | [REQ]Modell_Erhaltung.ifc | ifc |
| | 13.1 | Mset_BIM4AMS_Asphaldeckschicht_Kontrollprüfung.xml | xml |
| | 13.2 | Mset_BIM4AMS_Bohrkern_LinRef_AT.xml | xml |
| | 13.3 | Mset_BIM4AMS_Bohrkern_Semantik_Topologie.xml | xml |
| Payload Triples | 13.4 | Mset_BIM4AMS_Schicht_allgemein.xml | xml |
| | 13.5 | Mset_BIM4AMS_Tragschicht_gebunden_Kontrollprüfung.xml | xml |
| | 14 | Ls_Erhaltung_Schichtaufbau_Mset.rdf | rdf |
| | 15 | Ls_Bohrkern_Kontroll_Mset.rdf | rdf |
| | 16 | Ls_Fahrbahn_Abschnitt_Erhaltung.rdf | rdf |
| | 17 | Auto-generated.rdf | rdf |
| | 18 | GeplantErhaltung.Mapping.instances.ttl | ttl |

Datei 1 ist die sogenannte Index-Datei mit der kontextualen Information des Containerinhalts. Der **Ordner „Ontology Resources“** ist für das Speichern der Container- und Domain-Ontologien vorgesehen.

Die **Dateien 2– 5** sind die erforderlichen Ontologien für die Erstellung und Bearbeitung des Containers.

Datei 6 „EUROTL.ttl“ ist die Domain-Ontologie für das Erfassen der geplanten Erhaltungsmaßnahme als RDF-basierten Daten in diesem Anwendungsfall. Diese Daten werden mittels einer Mappingdatei aus der DB exportiert und in den Container zu semantischen Daten konvertiert und gespeichert.

Der **Ordner „Payload Documents“** ist für das Speichern von unterschiedlichen Dokumenten und Daten zu der Erhaltungsmaßnahme vorgesehen. Die darin enthaltenen Daten liefern die technischen und projekt-spezifischen Informationen für die Ausführung der Erhaltungsmaßnahme. Die von dem Bereitsteller zu liefernden Dokumente können als Platzhalter mit dem Label „angeforderte Dokumente“ (Label [REQ] in BIM4AMS-Plattform) definiert werden.

Datei 7 „FahrbahnDB“ in Form eines Payload-Dokuments sichert die Verbindung zu der externen Fahrbahndatenbank (Microsoft SQL-Datenbank). Mit den Zugangsdaten wird der Datenaustausch zwischen dem Container und der Datenbank ermöglicht.

Datei 8 „GeplantErhaltung.Mapping.ttl“ ist die Mappingdatei, womit die Information der geplanten Erhaltungsmaßnahme aus der **Datei 7 „FahrbahnDB“** gefiltert und in die RDF-basierte Datenstruktur konvertiert werden kann. Die ausgewählten Informationen enthalten die Bereitsteller. Dies beinhaltet eine grobe Beschreibung der Erhaltungsmaßnahme sowie das Ausführungsjahr der Maßnahme basieren auf dem angegebenen Startdatum der Maßnahme.

Datei 9 „Modell_Abbruch.ifc“ ist das reduzierte 3D-Objekt-Modell innerhalb des ausgewählten Fahrbahnabschnittes. Die geometrischen Elemente repräsentieren nur den rückzubauenden Bereich des Straßenabschnittes. Zusätzlich enthält jedes geometrische Element die gleichen Merkmale wie in der IFC-Datei „Modell_Bestand.ifc“.

Datei 10 „Modell_Bestand.ifc“ beinhaltet das reduzierte 3D-Objekt-Modell des Bestandsmodells des Straßenabschnittes. Die geometrischen Elemente enthalten die ausgewählten Informationen zur Lokalisierung mit den Merkmalen „Mset_BIM4AMS_LinRef_AT“, „Mset_BIM4AMS_LinRef_common“ und zur Beschreibung des Schichtenaufbaus mit den Merkmalen „Mset_BIMAMS_Schicht_allgemein“.

Datei 14 „[REQ]Modell_Bohrkern.ifc“ stellt ein zu lieferndes Modell als Platzhalter mit der Bezeichnung [REQ] dar. In dem Modell sollen die Bohrkerne für die Kontrollprüfung abgebildet werden. Die notwendigen Merkmale sind in den **Dateien 13.1 – 13.3 und 13.5** als Vorlage beigefügt.

Datei 12 „[REQ]Modell_Erhaltung.ifc“ stellt ein zu lieferndes Modell als Platzhalter mit der Bezeichnung [REQ] dar. In dem Modell sollen alle im Rahmen der Erhaltungsmaßnahme erneuerten Elemente abgebildet werden. Im Fall einer Maßnahme ohne geometrische

Änderungen kann das beigefügten Abbruch-Modell als Vorlage dienen. Die notwendigen Merkmale sind in der **Datei 9** als Vorlage beigefügt.

Die **Dateien 13.1 „Mset_BIM4AMS_Bohrkern_LinRef_AT.xml“, 13.2 „Mset_BIM4AMS_Bohrkern_Semantik_Topologie.xml“, 13.3 „Mset_BIM4AMS_Aspphaltdeckschicht_Kontrollprüfung.xml“ und 13.5 „Mset_BIM4AMS_Tragschicht_gebunden_Kontrollprüfung.xml“** enthalten die Merkmalsvorlagen zur Lokalisierung eines Bohrkerne, zur Beschreibung einer Bohrkernechicht und zur Beschreibung der Materialeigenschaften aus der Kontrollprüfung (siehe Abbildung 6-15 – Abbildung 6-18). Die Merkmalsvorlagen stellen die Anforderungen an alphanummerischen Informationen zum Bohrkerne-Modell dar. Die Werte müssen nach der Erhaltungsmaßnahme in Form von Merkmalen zu den IFC-Elementen aus der **Datei 11 „[REQ]Modell_Bohrkern.ifc“** hinzugefügt werden.

| Mset_BIM4AMS_Bohrkern_LinRef_AT | |
|---------------------------------|-------------------------|
| BohrkernBezeichnung | BK2019-011 |
| Normalabstand | 2,79 |
| Referenzachse | BIM4AMS_Strassenachse_1 |
| Station | 73 815,38 |

Abbildung 6-15: Merkmale in Mset_BIM4AMS_Bohrkern_LinRef_AT mit Beispielesdaten

| Mset_BIM4AMS_Bohrkern_Semantik_Topologie | |
|--|--------------------|
| ElementKategorie | Strassenbau |
| ElementName | Bohrkern |
| ElementTyp | Frostschuttschicht |
| Projekt | BIM4AMS |

Abbildung 6-16: Merkmale in Mset_BIM4AMS_Bohrkern_Semantic_Topologie mit Beispielesdaten

| Mset_BIM4AMS_Aspphaltdeckschicht_Kontrollprüfung | |
|--|------|
| B | 6,5 |
| Hbit_BK | 1,5 |
| k | 99,8 |
| Scherkraft | 32 |

Abbildung 6-17: Merkmale in Mset_BIM4AMS_Aspphaltdeckschicht_Kontrollprüfung mit Beispielesdaten

| Mset_BIM4AMS_Tragschicht_gebunden_Kontrollprüfung | |
|---|------|
| B | 6,5 |
| k | 99,8 |
| Scherkraft | 32 |

Abbildung 6-18: Merkmale in Mset_BIM4AMS_Tragschicht_gebunden_Kontrollprüfung mit Beispielesdaten



Die **Datei 13.4 „Mset_BIM4AMS_Schicht_allgemein.xml“** enthält die Merkmalsvorlagen zu Abnahmedatum, Einbaudatum, mittlere Einbaudicke, Schichtart und Verjährungsfrist (siehe Abbildung 6-19). Die Merkmale basieren auf den zu aktualisierten Daten des Straßenabschnittes in der Datenbank. Allerdings werden nur Teile dieser Merkmale (Abnahmedatum, mittlere Einbaudicke und Schichtart) in der Demo-Datenbank berücksichtigt und bei der Demonstration des Datenimports in die DB aktualisiert. Die Merkmalsvorlagen stellen die Anforderung von alphanummerischen Informationen zum Modell der erneuerten Straßenelemente dar. Die Werte müssen nach Durchführung der Erhaltungsmaßnahme als Merkmale zu den IFC-Elementen aus der **Datei 12 „Modell_Erhaltung.ifc“** von den Bereitstellern hinzugefügt werden.

| Mset_BIM4AMS_Schicht_allgemein | |
|--------------------------------|-------------|
| Abnahmedatum | 2021:12:17 |
| Einbaudatum | 2021:12:17 |
| mittlere Einbaudicke | 12 |
| Schichtart | Deckschicht |
| Verjährungsfrist | 2026:12:17 |

Abbildung 6-19: Merkmale in Mset_BIM4AMS_Schicht_Allgemein mit Beispelsdaten

In den **Ordner „Payload Triples“** sind die Dateien mit den konvertierten Daten aus der Datenbank und den Verknüpfungen zwischen den Dokumenten bzw. Datensätzen gespeichert.

Datei 14 „Ls_Erhaltung_Schichtaufbau_Mset.rdf“ ist eine Linkset-Datei mit den Verknüpfungen (Links) zwischen dem zu liefernden Fahrbahn-Modell **Datei 12** und den zugehörigen Merkmalen aus der **Datei 13.4**.

Datei 15 „Ls_Bohrkern_Kontroll_Mset.rdf“ ist eine Linkset-Datei mit den Verknüpfungen (Links) zwischen dem zu liefernden Bohrkern-Modell **Datei 11** und den zugehörigen Merkmalen aus den **Dateien 13.1 – 13.3 und 13.5**.

Die **Datei 16 „Ls_Fahrbahn_Abschnitt_Erhaltung.rdf“** ist eine Linkset-Datei, in der die Verknüpfungen (Links) zwischen der Beschreibung der Erhaltungsmaßnahme aus der **Datei 18** und den betreffenden Straßenabschnitten aus **Datei 9** gespeichert sind.

Die **Datei 17 „Auto-generated.rdf“** ist eine automatisch vom Prototyp erstellte Linkset-Datei. Bei dem Datenexport aus der externen Datenbank oder der Konvertierung von Daten innerhalb eines Containers werden die Verknüpfungen (Links) zwischen der Datenquelle und den konvertierten Daten automatisch im Hintergrund erzeugt und gespeichert.

Die **Datei 18 „GeplantErhaltung.Mapping.instances.ttl“** ist eine Datei mit den exportierten Daten zur geplanten Erhaltungsmaßnahme aus der Datenbank **Datei 7 „FahrbahnDB“**. Der Umfang und die Zuordnung der exportierten Daten basieren auf den definierten Regeln in **Datei 8**.

Anmerkung: Für den externen Bereitsteller sind nur die exportierten Daten zur geplanten Erhaltungsmaßnahme aus der Datenbank von Bedeutung. Daher kann die Datenbankverbindung sowie die Mappingdatei nach Fertigstellung des Anforderungscontainers vor Durchführung des Datenaustausches durch den Asset Manager gelöscht werden. D. h. die **Datei 7** und die **Datei 8**, welche für den Datenbankzugang benötigt werden, können vor der Datenübergabe an den Bereitsteller aus dem Container gelöscht werden. Dieser Container nach Durchführung dieses Arbeitsschrittes ist in diesem Dokument nicht als Beispiel dargestellt.

2. Ergebniscontainer „Dokumentation der Erhaltungsmaßnahme“

In Tabelle 6-2 ist der Inhalt des Ergebniscontainers „Dokumentation der Erhaltungsmaßnahme“ dargestellt. Basierend auf den zuvor definierten Anforderungen des Anforderungscontainers kann der fertiggestellt werden. Dabei können die Dateien mit dem informativen Zweck zur technischen Beschreibung oder den Informationsanforderungen unverändert bleiben, gelöscht oder überarbeitet werden.

Die **Datei 1a „Index.rdf“** ändert sich, sobald der Containerinhalt sich ändert oder modifiziert wird.

In dem **Ordner „Ontology Resources“** bleiben die Dateien **2 - 6** unverändert.

In dem **Ordner „Payload Documents“** befinden sich folgende Dateien:

Die **Datei 7a „PavementDB“** beinhaltet die unveränderten Zugangsdaten und dient zur Herstellung einer Verbindung mit der Datenbank. Zusätzlich werden die „SPARQL – SQL“ Vorlagen (templates) in der Datenbankdatei gespeichert. Die in der Datei integrierten Vorlagen werden für den Datenimport von dem ICDD in die Datenbank angesetzt. Hierbei wird die SPARQL für die Filterung der Information über den allgemeinen Schichtaufbau von dem neuen Erhaltungsabschnitt und den zugehörigen Materialeigenschaften von der Kontrollprüfung innerhalb des Containers genutzt. SQL sind vordefinierte Befehle mit ausgewählten Daten, die mittels SPARQL für die Datenaktualisierung in der Datenbank genutzt werden.

Datei 8 ist für den Ergebniscontainer irrelevant und wird gelöscht.

Tabelle 6-2: Inhalt des Containers „Pavement inspection result“

| Dokumentation der Erhaltungsmaßnahme | | | |
|--------------------------------------|------------------|---|-------|
| Name: | | Dokumentation der Erhaltungsmaßnahme | |
| Description: | | Container mit relevanter Information für die Erhaltungsmaßnahme | |
| Folder | Nr ²⁰ | File Name | Type |
| Ontology Resources | 1a | Index.rdf | rdf |
| | 2 | Container.rdf | rdf |
| | 3 | LinkSet.rdf | rdf |
| | 4 | ExtendedLinkset.rdf | rdf |
| | 5 | ExtendedDocument.rdf | rdf |
| Payload Documents | 6 | EUROTL | ttl |
| | 7a | FahrbahnDB | MSSQL |
| | 8 | GeplantErhaltung.Mapping.ttl | ttl |
| | 9 | Modell_Abbruch.ifc | ifc |
| | 10 | Modell_Bestand.ifc | ifc |
| | 11a | Modell_Bohrkern.ifc | ifc |
| | 12a | Modell_Erhaltung.ifc | ifc |
| | 13.1 | Mset_BIM4AMS_Asphaldeckschicht_Kontrollprüfung.xml | xml |
| | 13.2 | Mset_BIM4AMS_Bohrkern_LinRef_AT.xml | xml |
| | 13.3 | Mset_BIM4AMS_Bohrkern_Semantik_Topologie.xml | xml |
| | 13.4 | Mset_BIM4AMS_Schicht_allgemein.xml | xml |
| | 13.5 | Mset_BIM4AMS_Tragschicht_gebunden_Kontrollprüfung.xml | xml |
| | 14 | Ls_Erhaltung_Schichtaufbau_Mset.rdf | rdf |
| | 15 | Ls_Bohrkern_Kontroll_Mset.rdf | rdf |
| | 16 | Ls_Fahrbahn_Abschnitt_Erhaltung.rdf | rdf |
| Payload Triples | 17a | Auto-generated.rdf | rdf |
| | 18 | GeplantErhaltung.Mapping.instances.ttl | ttl |
| | 19 | Ls_Neuabschnitte_Bohrkern.rdf | rdf |
| | 20 | Modell_Bohrkern.instances.ttl | ttl |
| | 21 | Modell_Erhaltung.instances.ttl | ttl |

²⁰ Zur Unterstützung der Inhaltbeschreibung und Gegenüberstellung die inhaltliche Änderung von zwei Containern wird die Nummerierung von Anforderungscontainer übernommen. Die aktualisierten Dateien sind mit der gleichen Nummer zuzüglich eines Buchstabens.

Die **Datei 9 „Modell_Abrbruch.ifc“** bleibt unverändert.

Datei 10 „Modell_Bestand.ifc“ bleibt unverändert.

Datei 11a „Modell_Bohrkern.ifc“ ist das Modell mit den Bohrkernen zur Kontrollprüfung. Dazu werden die IFC-Elemente mit den Daten zur Lokalisierung und den Materialeigenschaften als Merkmale angereichert. Der Platzhalter mit dem Label [REQ] wird durch das neue Modell ersetzt.

Datei 12a „Modell_Erhaltung.ifc“ ist das Modell mit dem erneuten Straßenabschnitt. Dazu werden die IFC-Elemente mit den Daten zum Schichtenaufbau als Merkmale eingereicht. Der Platzhalter mit dem Label [REQ] wird durch das neue Modell ersetzt.

Datei 13.1 – 13.3 und 13.5 sind als Merkmale mit aktuellen Werten in der **Datei 11a „Modell_Bohrkern.ifc“** hinzugefügt. Diese Vorlagedatei wird gelöscht.

Datei 13.4 ist als Merkmale mit aktuellen Werten in der **Datei 12a „Modell_Erhaltung.ifc“** hinzugefügt. Diese Vorlagedatei wird ebenfalls gelöscht.

Innerhalb des **Ordnern „Payload Triples“** befinden sich folgende Dateien:

Datei 14 dient nur als Informationsanforderung für den Bereitsteller. Diese wird in dem Ergebniscontainer gelöscht.

Datei 15 dient nur als Informationsanforderung für den Bereitsteller. Diese wird in dem Ergebniscontainer gelöscht.

Datei 16 „Ls_Fahrbahn_Abschnitt_Erhaltung.rdf“ bleibt unverändert.

Datei 17a „Auto-generated.rdf“ ist durch Datenkonvertierung geändert. Allerdings werden die Änderungen im Hintergrund automatisch von dem System durchgeführt.

Datei 18 „GeplantErhaltung.Mapping.instances.ttl“ bleibt unverändert.

Datei 19 „Ls_Neuabschnitte_Bohrkern.rdf“ ist eine Linkset-Datei, d. h. diese Datei beinhaltet Verknüpfungen (Links) zwischen den erneuerten Elementen (in diesem Beispiel beschränkt auf die Deckschicht) der Erhaltungsmaßnahme **Datei 12a** und den zugehörigen Bohrkernen in der **Datei 11a**.

Datei 21 „Modell_Bohrkern.instances.ttl“ ist die Turtle-Datei, die aus der **Datei 11a „Modell_Bohrkern.ifc“** durch den IFCToLBD converter²¹ generiert wurde. Diese Datei liefert die via SPARQL abrufbaren Informationen zu den Materialeigenschaften.

Datei 21 „Modell_Erhaltung.instances.ttl“ ist die Turtle-Datei, die aus der **Datei 12a „Modell_Erhaltung.ifc“** generiert wurde. Diese Datei liefert die via SPARQL abrufbaren Informationen zu den Daten des Schichtenaufbaus.

²¹ <https://github.com/jyrkioraskari/IFCToLBD>

6.6 Kapitelzusammenfassung

In diesem Kapitel erfolgte die exemplarische Anwendung der entwickelten Methodik zur Verknüpfung von baustofftechnischen Daten mit einem BIM-Modell. Dazu wurde zunächst das Umsetzungskonzept erläutert. Grundlage für die Modellierung war die Erstellung eines Bauwerksmodells eines begrenzten Straßenabschnittes an dessen geometrische Elemente Merkmale bzw. Merkmalsgruppen angeheftet wurden. Die Informationen zu diesen Merkmalen wurden im Rahmen von drei zuvor definierten Anwendungsfällen (Zustandserfassung, Maßnahmenplanung und Aktualisierung des Bestandsmodells) mit Datensätzen aus einer nachgebildeten Asset Management Datenbank aktualisiert. Kernelement der entwickelten Methodik war hierbei die in Form eines IT-Prototyps umgesetzte ICDD-Plattform, die einen Datenaustausch zwischen externen Datenbanken und einem BIM-Modell (Bauwerksmodell) mit Hilfe von Informationscontainern ermöglicht. Im Fokus dieses Kapitels lag dabei insbesondere die technische Umsetzung und deren detaillierte Erläuterung zur Struktur und Inhalt der Informationscontainer für jeden Anwendungsfall. Mit der Erprobung des IT-Prototyps im Rahmen der drei Anwendungsfälle konnte die Eignung der entwickelten Methodik schließlich erfolgreich nachgewiesen werden.

7 SCHLUSSBETRACHTUNG

7.1 Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse

7.1.1 Ausgangslage

Building Information Modeling (BIM) bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks alle für den Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden. Im Zentrum dieses Prozesses steht die Datenhaltung für Bauwerke, die die Entscheidungsgrundlagen für bautechnische und wirtschaftliche Fragestellungen während des Lebenszyklus darstellen. Ein verbesserter Informationsaustausch, ein digitaler Datenabgleich und der damit einhergehende effiziente Planungsprozess hinsichtlich Kosten, Termine, Qualität und Nachhaltigkeit sind die wesentlichen Vorteile von BIM.

Derzeit werden in den D-A-CH-Ländern die bei der Bauausführung anfallenden baustoffbezogenen Daten fast ausschließlich für die Abwicklung des jeweiligen Bauvertrages genutzt. Systematische Datenanalysen und Auswertungen, die eine Grundlage für die Fortschreibung der technischen Regelwerke bilden, können ohne großen Aufwand nur im (lokal) begrenzten Umfang erfolgen. Vorinformationen, die bei einer späteren Verwendung der wiedergewonnenen Baustoffgemische für eine hochwertige Verwendung von erheblichem Nutzen sein können, gehen verloren oder müssten ggf. aus zum Teil Jahrzehnte alten Aktenlagen erhoben werden. Eine Vereinheitlichung der Nutzung und Datenverwaltung bautechnischer Informationen von Straßen sowohl in Bezug auf den Umfang als auch der Qualität ist daher wünschenswert. Entsprechende Softwarestandards sollen geschaffen werden.

7.1.2 Ziel des Forschungsvorhabens

Ziel des Forschungsprojektes BIM4AMS war die Entwicklung und Erprobung eines in sich geschlossenen Konzeptes, wie baustofftechnische Daten und betriebsablaufspezifische Informationen in ein BIM für Straßen integriert und miteinander verknüpft werden können. Einen Schwerpunkt bildete dabei zunächst die Analyse, welche Auswahl von baustofftechnischen Daten aus dem Bauprozess erforderlich ist, um diese in den nachfolgenden Prozessen im Lebenszyklus der Straße weiterzuverwenden. Auf Grund der Vielzahl der verfügbaren Daten musste daher eine Selektion stattfinden. Es wurden dabei sowohl die erforderlichen Informationen mit Relevanz für die Planung und Ausschreibung von



zukünftigen Erhaltungsmaßnahmen als auch die zum Betrieb der Straße erforderlichen Informationen identifiziert. Die Ergebnisse sollten einen bedeutenden Teilaspekt zum Aufbau eines umfassenden BIM für Straßenbauwerke bilden.

7.1.3 Methodik und Ergebnisse

Als Grundlage für die Etablierung von BIM bei Baumaßnahmen am Straßenoberbau und dessen Fortführung während der Betriebsphase war es zunächst erforderlich, zu identifizieren, welche baustoffspezifischen Informationen für die Verwendung in einem Ausführungsmodell und in einem As-Built-Modell genutzt werden sollen. Auf Grund der hohen Menge von Teildaten musste für die Weiterführung im Rahmen von BIM eine Reduzierung des Datenumfangs durchgeführt werden. Hierfür waren sowohl das Informationsbedürfnis für die Vorbereitung von Erhaltungsmaßnahmen als auch die Prozesse des Straßenbetriebs sowie die Verwendung der eingesetzten Baustoffe und Baustoffgemische am Ende des Lebenszyklus der Straße die wesentliche Grundlage.

Zunächst wurde analysiert, welche Prozesse im Rahmen der Bauausführung und des Straßenbetriebs, welche baustoffspezifischen Informationen benötigen und inwiefern diese Daten mittelbar oder unmittelbar miteinander verknüpft werden können. Die Interoperabilität und die Verbindung mit bereits existierenden Datenbanken bzw. Informationssystemen im Rahmen der Lebenszyklusplanung einer Straße waren dabei von besonderer Bedeutung. In diesem Zusammenhang wurden bereits vorhandene Informationsmanagementsysteme für die Vorhaltung von Daten sowie Technologien zum Datenaustausch (IFC Road, CityGML, InfraGML, OKSTRA, XML, ...) auf nationaler und internationaler Ebene berücksichtigt.

Im Zuge der Konzepterarbeitung waren zudem die Aspekte der unterschiedlichen Nutzungsebenen des jeweils erforderlichen Datenumfangs in den Teilprozessen der Bauphase und des Straßenbetriebs (welche Eigenschaften, in welcher Detailtiefe, Notwendigkeit der Verknüpfung von Merkmalen mit dem zum Zeitpunkt der Erhebung geltenden Prüfvorschriften) zu identifizieren und beim weiteren Vorgehen mit einzubeziehen. Ein zentrales Element des Forschungsprojektes bildete eine Analyse, welche der derzeit erhobenen Daten relevant sind, um sie für die Prozesse im Lebenszyklus weiter zu verwenden. Des Weiteren galt es zu erarbeiten, wem Daten in welcher Form und in welcher Nutzungsebene zugänglich gemacht werden sollen bzw. müssen. Dies spielt insbesondere im Rahmen der Teilprozesse der Bauausführung eine wesentliche Rolle.

Dazu wurde eine Methodik entwickelt und exemplarisch mit Hilfe eines IT-Prototyps getestet, wie die relevanten Informationen für die Beurteilung des Zustands im Rahmen von

Lebensdauerbetrachtungen der Straßeninfrastruktur in Form von Informationscontainern nach ISO 21597 bereitgestellt und die Ergebnisse nachprüfbar abgefragt werden können.

Zu diesem Zweck wurden drei relevante Anwendungsfälle identifiziert, bei denen ein Datenaustausch zwischen dem Infrastrukturbetreiber bzw. -eigentümer und externen Dienstleistern stattfindet. Für den Datenaustausch wurde ein IT-Prototyp (ICDD-Plattform) entwickelt und Informationscontainer entwickelt, die die Ergebnisse von Zustandserfassungen und -bewertungen enthalten sowie den Datenaustausch zur Planung von Erhaltungsmaßnahmen und zu baustofftechnischen Daten ermöglichen. Es wurde unterschieden zwischen Informationen, die direkt in BIM-Modelle einfließen und solchen, die mit externen Datenquellen verknüpft sind. Weiterhin wird durch die erstellten Fallbeispiele anhand eines Straßenabschnittes gezeigt, wie mit semantischen Informationen und der geometrischen Darstellung umgegangen wird. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes tragen zu einer deutlichen Nutzensteigerung durch die Anwendung von BIM innerhalb des Asset Managements bei.

7.2 Empfehlungen

Der Nutzen für ein Asset Management System durch die Ergänzung mit BIM samt der baustofftechnologischen Datenbasis und deren temporale Einordnung und örtliche Lokalisierung ist enorm. Die Informationen aus dem Bauprozess, z. B. Schichtdicken, Art des Asphaltmischgutes, oder baustofftechnologische Daten aus Abnahmeprüfungen, stellen den IST-Zustand des Straßenbauwerks zum Abnahmezeitpunkt dar, d. h. eine initiale Datengrundlage, welche etwaige Analysen über seine Lebensdauer erlauben. Sobald die Prozesse und der Datenfluss klar definiert sind und die jeweiligen Daten in den verknüpften Informationssystemen ohne Redundanzen gepflegt werden, sind die vorhandenen Synergien erheblich. Bereits bekannt ist der entstehende Nutzen bei einer umfassenden Nutzung von Straßeninformationssystemen im Asset Management. Werden jedoch die baustofftechnischen Daten aus dem Bauprozess über einen durchgängigen BIM-basierten Datenaustausch mit dem Asset Management verknüpft, können die derzeit umfangreichen Prozesse der Zusammenführung und Überprüfung von Daten in einem AMS weitgehend reduziert werden und neben der schnelleren Datenverfügbarkeit auch fortgeschrittene Auswertungen und Analysen gerade in Bezug auf Lebensdaueranalysen und der Optimierung des Erhaltungshandelns durchgeführt werden. Darüber hinaus können weitere Analysen der verknüpften Daten neue und umfassende Erkenntnisse zur Dauerhaftigkeit von Bauweisen verwendet werden und damit Erkenntnisse zu deren Weiterentwicklung liefern. Dies führt zu einer genaueren Abschätzung von Risiken und Kosten über die Lebensdauer der



Straßeninfrastruktur, möglicherweise über die Betrachtung der Dauerhaftigkeit auch zur Bewertung klimastabiler Bauweisen.

7.3 Ausblick

Der Einsatz der Semantic Web Technology (SWT) ermöglicht mehr Interoperabilität zwischen den Informationen aus den unterschiedlichen Domains. Die durchgeführten Fallbeispiele zeigen, wie das Erfassen, Zuordnen und Austauschen von unterschiedlichen Daten mittels eines IT-Prototyps (ICDD-Plattform) realisiert wird. Um die vorhandenen Asset Management System (AMS) mit den relevanten Daten aus den baulichen oder betrieblichen Aktivitäten zu aktualisieren, ist die Übertragung der in der ICDD-Plattform erfassten semantischen Informationen in das AMS als zukünftiger Schritt vorgesehen. Durch definierte SPARQL-Abfragen können die benötigten Daten aus der ICDD gefiltert werden. Die Übertragung dieser Daten sollte durch automatisiert generierte SQL-Befehle maßgeschneidert für das betreffende AMS realisiert werden. Die automatisierte Integration der Daten von ICDD in das AMS reduziert den Arbeitsaufwand und die Fehleranfälligkeit bei der Datenübertragung. Dies ist als wesentlicher Vorteil der Anwendung von BIM im Rahmen des Asset Managements zu sehen. Zudem ergeben sich zukünftig bisher nicht durchführbare Untersuchungen zu Lebensdauerbetrachtungen der Bauwerke in Abhängigkeit der eingesetzten Baustoffe.

8 LITERATURVERZEICHNIS

AASHTO (1986). AASHTO guide for design of pavement structures, American Association of State Highway Officials (AASHTO), III-17-III-20 and Appendix J

ASFiNAG (2013). Bau-Projektakte Digitale Ablage im Dateisystem, Schulungsunterlage V1.00. Wien.

ASFiNAG (2016a). IMT-Datenbankstruktur, Generelle Vorgaben und Grundlagen. Wien.

ASFiNAG (2016b). Handbuch Pavement Management in Österreich. Version 2016, Wien.

ASFiNAG (2016c). Handbuch Digitale Bauprojektdokumentation mit exakt. Wien.

ASTRA (2005). Richtlinie Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstrassen. Bundesamt für Strassen. Ittigen.

ASTRA (2014). Nationalstrassennetz als räumliches Basisbezugssystem RBBS, Richtlinie, ASTRA 10001, Ausgabe 2014 V1.00. Bundesamt für Strassen. Ittigen.

ASTRA (2016). KUBA 5 Fachapplikation Kunstbauten und Tunnel – Leitfaden für Inspektoren. Bundesamt für Strassen. Ittigen.

ASTRA (2019). IT Dokumentation MISTRA Trasse – TRA, Datenerfassungshandbuch, Ausgabe 2019 V1.13.0, ASTRA 61 014, Bundesamt für Strassen. Ittigen.

ASTRA (2020). Fachhandbuch Modul Dokumentation – Vorgaben ASTRA F2. 20 001-50201. Bundesamt für Strassen. Ittigen.

Bernard, E., C. Marschal & R. Hajdin (2015). Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP6: Schnittstellen aus den Auswertungssystemen SIS (SIS-DWH), Schriftenreihe, 1508, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern.

Blumenfeld, T., Elvarsson, A., Schiffmann, F., Grund, C., Kempf, D., Balck, H., Bald, J. St., Hajdin, R. (2021) Multi-kriterielle probabilistische Prognose der Zustandsentwicklung. D-A-CH-

Call 2018: Erhaltungsmanagement, Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG), Wien, Österreich.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012). Richtlinien zum Planungsprozess und für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau (RE). Ausgabe 2012. FGSV-Nr. 2070. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Berlin.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2017a). Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF).

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2017b). Richtlinien zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 – RI-EBW-PRÜF, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Berlin.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2018a). Anweisung Straßeninformationsbank, Teilsystem Bestandsdaten, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Berlin.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2018b). Anweisung Straßeninformationsbank, Teilsystem Bauwerksdaten, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Berlin.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2019a). BIM4INFRA2020 - Handreichungen und Leitfäden Teil 6: Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2019b). BIM4INFRA2020 - Handreichungen und Leitfäden Teil 7: Handreichung BIM-Fachmodelle und Ausarbeitungsgrad. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2021). Masterplan BIM

Bundesfernstraßen, Digitalisierung des Planens, Bauens, Erhaltens und Betreibens im Bundesfernstraßenbau mit der Methode Building Information Modeling (BIM)

Botzen, M., F. Schiffmann & R. Hajdin (2017). A novel road sectioning technique for pavement management, WCPAM 2017, Mailand, Italien.

Curry, E., O'Donnell, J., Corry, E., Hasan, S., Keane, M., O'Riain, S. (2013). Linking building data in the cloud: Integrating cross-domain building data using linked data. *Advanced Engineering Informatics*, 27 (2). Elsevier.

DEGES (2020a). LOD-Konzept Grundlagen Version 1.6. Deutsche Einheit Fernstraßenplanung und -bau GmbH. Berlin

DEGES (2020b). LOD-Konzept Anhang 01 Level of Geometry Version 1.4. Deutsche Einheit Fernstraßenplanung und -bau GmbH. Berlin

Deutsches Institut für Normung (1999). DIN 1076: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen; Überwachung und Prüfung. Ausgabe November 1999, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2003). DIN EN 1337-10: Lager im Bauwesen Teil 10: Inspektion und Instandhaltung. Ausgabe November 2003, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2008). DIN EN 13036-1 - 13036-8: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren, Teil 1 bis 8. Ausgabe Juni 2008, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2012). ISO 19148: Geoinformation – Lineares Bezugssystem. Ausgabe Februar 2012, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2015a). DIN EN ISO 9000: Qualitätsmanagementsysteme. Ausgabe November 2015, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2015b). DIN ISO 55000: Asset Management – Übersicht, Leitlinien und Begriffe, Ausgabe Mai 2015, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2015c). EN 12596: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der dynamischen Viskosität mit Vakuum-Kapillaren. Ausgabe Januar 2015, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2015d). EN 12595: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der kinematischen Viskosität. Ausgabe Januar 2015, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2016). DIN EN 4628-3: Beschichtungsstoffe – Beurteilung von Beschichtungsstoffen – Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von gleichmäßigen Veränderungen im Aussehen -Teil 3: Bewertungen des Rostgrades. Ausgabe Juli 2016, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2018). ISO 29481-1: Bauwerksinformationsmodelle - Handbuch der Informationslieferungen - Teil 1: Methodik und Format. Ausgabe Januar 2018, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2019a). DIN EN 17412 (Entwurf): Building Information Modelling - BIM-Definitionsgrade - Konzepte und Definitionen. Ausgabe Juli 2019, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2019b). EN ISO 19650-1/2: Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, Ausgabe August 2019, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2019c). DIN SPEC 91391-1: Gemeinsame Datenumgebungen (CDE) für BIM-Projekte - Funktionen und offener Datenaustausch zwischen Plattformen unterschiedlicher Hersteller - Teil 1: Module und Funktionen einer Gemeinsamen Datenumgebung. Ausgabe April 2019, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2020a). EN ISO 21597-1: Informationscontainer zur Datenübergabe - Austausch-Spezifikation - Teil 1: Container. Ausgabe April 2020, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2020b). DIN EN ISO 23386: Bauwerksinformationsmodellierung und andere digitale Prozesse im Bauwesen - Methodik zur Beschreibung, Erstellung und Pflege von Merkmalen in miteinander verbundenen Datenkatalogen. Ausgabe November 2020, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2021a). ISO EN 16739: Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauindustrie und im Anlagenmanagement. Ausgabe November 2021, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Deutsches Institut für Normung (2021b). EN 17412-1: Bauwerksinformationsmodellierung - Informationsbedarfstiefe - Teil 1: Konzepte und Grundsätze. Ausgabe Juni 2021, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2001). Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen (RPE-Stra). Ausgabe 2001, Best.-Nr. 988, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2003). OKSTRA-Merkblatt, Ausgabe 2003. Herausgegeben von der Arbeitsgruppe Sonderaufgaben der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). FGSV-Verlag, Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2006). Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen (ZTV ZEB-StB). Ausgabe 2006, Best.-Nr. 998, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2012a). Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO). Ausgabe 2012, Best- Nr. 499, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag, Köln, 2012.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2012b). Richtlinie für die Anlage von Landstraßen (RAL). Ausgabe 2012 Best-Nr. 201. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag, Köln, 2012.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2020). STLK - Standardleistungskatalog für den Straßen- und Brückenbau, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag, Köln, 2020.

Fraunhofer-Institut für physikalische Messtechnik IPM (2019). BASt nutzt Straßenoberflächen-Scanner von Fraunhofer IPM für neues Erfassungssystem. Presseinformation. Freiburg. <https://www.ipm.fraunhofer.de/content/dam/ipm/de/PDFs/Pressemitteilung/2019/PI-PPS-Plus-MESAS-BaST.pdf>

FSV (2006). RVS 13.01.15, Pavement Management, Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene - Verkehr, Wien.

FSV (2009a). RVS 13.04. Bauwerksdatenbank. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene - Verkehr, Wien.

FSV (2009b). RVS 11.06.69, Digitale Hochgeschwindigkeitsbilderfassung der Fahrbahnoberfläche mit dem System RoadStar. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene - Verkehr, Wien.

FSV (2011). RVS 13.03.11, Straßenbrücken. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene - Verkehr, Wien.

FSV (2012). RVS 13.01.16, Pavement Management, Bewertung von Oberflächenschäden und Rissen auf Asphalt- und Betondecken. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene - Verkehr, Wien.



Gaia-X Hub Germany (2022). <https://www.data-infrastructure.eu/GAIA/Redaktion/EN/Artikel/UseCases/smart-infrastructure-management.html>. aufgerufen am 19.09.2022, 14:07 Uhr.

Haardt, P. (1999). Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Brücken- und Ingenieurbau, (22).

Hagedorn, P. (2018). Implementation of a Validation framework for the information container for data drop. In M. Steiner, M. Theiler, & M. Mirboland (Hrsg.), 30. *Forum Bauinformatik* (Verlagsversion, S. 147–154). Forum.

Hajdin, R., M. Botzen, F. Schiffmann & H. P. Lindenmann (2014). Verfahren zur Bildung von homogenen Abschnitten der Strassenverkehrsanlage für das Erhaltungsmanagement Fahrbahnen, Schriftenreihe, 1497, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern.

Hajdin, R., H.-O. Lee, C. Honeger, M. Nowacki, R. Cao, S. Beamish, M. Valdes-Flores, J. Morgado, W. Lategan, J.-C. Roffé, N. Tanasic (2019). Innovative approaches to Asset Management, Technical Report, PIARC.

Hallinger, Michael; Silberbauer, Björn: BIM VI - Datenstruktur für die Verkehrsinfrastruktur. Verkehrsinfrastrukturforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, ÖBB-Infrastruktur AG, Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft ASFiNAG, Wien 2018. (<https://projekte.ffg.at/projekt/2738358>)

Hess, R.; Schweibenz, B.; Stöckner, M.; Zander, U. (2018). Infrastrukturmanagement Straße – Erhaltung, Maßnahmenkoordinierung, Wirtschaftlichkeit, Vermögensbewertung. 1. Auflage, Kirschbaum Verlag, Bonn.

Kienreich, R. (2018). Asset Management in der ASFiNAG, Vortrag im Rahmen der Veranstaltung der GSV „Infrastructure Asset Management – Potentiale erkennen und heben“, 25.01.2018, Wien.

König, M., Borrmann, A., Stöckner, M., Radenberg, M., Hagedorn, P., Jaud, S., Niever, M., Müller, D. (2020). BIM-basiertes Erhaltungsmanagement im Straßenbau. Endbericht zum

Forschungsprojekt FE-Nr. 04.0299/2016/MRB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Unveröffentlicht.

Radenberg, M., Müller, D., König, M., Hagedorn, P., Geistefeldt, J., Hohmann, S., Heinrichs, J. (2022). Anwendung der Methode BIM in Konformität mit den Regelwerken der FGSV und des IT-Ko. Bericht zum Forschungsprojekt 02.0427. Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch Gladbach.

Rübensam, J.; Schulze, F. (1996). Entwicklung einer Methodik zur zweckmäßigen Zusammenfassung maßnahmebedürftiger Abschnitte der BAB-Betriebsstrecken auf der Grundlage von Zustands- und Bestandsdaten, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 736, Bundesministerium für Verkehr, Bonn.

Schiffmann, F. & Hajdin, R. (2017). Verfahren zur Erhaltungsplanung von Strassennetzen in der Praxis, UVEK, Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern.

Schmuck A. (1987). Straßenerhaltung mit System, Grundlagen des Managements. Kirschbaum Verlag, Bonn.

Stepien, M.; Vonthron, A.; König, M. (2021). An Approach for Cross-Data Querying and Spatial Reasoning of Tunnel Alignments. 28th EG-ICE 2021 Workshop on Intelligent Computing in Engineering, accepted paper.

Stöckner, M. Hajdin, R., König, M., Gavin, K., Schiffmann, F., Blumenfeld, T., Brow, I., Liu, L. (2022). Exchange and exploitation of data from Asset Management Systems using vendor free format (AMSTree). Final Report. CEDR Call 2018.

Stöckner, M. & Niever, M. (2018). Building Information Modeling: BIM im Life Cycle Management in: FGSV Kongressband Erfurt: Deutscher Straßen und Verkehrskongress 2018, ISBN: 978-3-86446-225-2, FGSV-Verlag (FGSV, 001,27). Köln.

Thomas, F. (2004). Generating homogeneous road sections based on surface measurements: available methods, Vortrag, 2nd European Pavement and Asset Management Conference EPAM2, Berlin (D), 21-23 March 2004.



Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS) (2004). SN 640 925b
Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF). Bundesamt für Strassen. Zürich.

ANHANG

A.1. Begriffssystematik

Eine systematische Zusammenstellung der in diesem Projekt verwendeten Begriffe und ihrer länderspezifischen Bezeichnung ist als Excel-Datei dem Bericht beigelegt.

A.2. Katalog der relevanten baustofftechnologischen Daten

Der Katalog der relevanten baustofftechnischen Daten ist dem Bericht als Excel-Datei beigelegt.

A.3. Merkmalsgruppen und Merkmale

Im Folgenden sind die in diesem Projekt erstellten Merkmalsgruppen mit ihren Merkmalen dargestellt.

a) Merkmalsgruppen der baustofftechnischen Daten

Tabelle A.3-1: PSET Schicht_allgemein

| Name | Beschreibung |
|----------------------|--------------|
| Schichtart | – |
| Mischgutsorte | – |
| Mittlere Einbaudicke | – |
| Mittlere Einbaumenge | – |
| Einbaudatum | – |
| Abnahmedatum | – |
| Verjähungsfrist | – |

Tabelle A.3-2: PSET Gestein_Erstprüfung / Massnahmenplanung

| Name | Beschreibung |
|-----------------|---------------------------|
| Eigenfeuchte | |
| Feinanteil | Feinkornanteil < 0,063 mm |
| FTW<4mm | Frost-Tausalz-Wechsel |
| FTW>4mm | Frost-Tausalz-Wechsel |
| Frostwiderstand | – |
| Gesteinsart | – |
| SI | Kornform |
| KGV | Korngrößenverteilung |
| Quellfähigkeit | – |
| PSV<4mm | Widerstand gegen Polieren |
| PSV>4mm | Widerstand gegen Polieren |
| SZ | Schlagzertrümmerung |
| Rho_R_Gestein | Gesteinsrohddichte |



Tabelle A.3-3: PSET Gestein_Kontrollprüfung

| Name | Beschreibung |
|------------|---------------------------|
| Feinanteil | Feinkornanteil < 0,063 mm |
| KGV | Korngrößenverteilung |

Tabelle A.3-4: PSET Bindemittel_Erstprüfung / Kontrollprüfung / Massnahmenplanung

| Name | Beschreibung |
|------------------|------------------------------------|
| Bindemittelsorte | – |
| ElaRueck | Elastische Rückstellung |
| EP_Ruk | Erweichungspunkt Ring und Kugel |
| PEN | Eindringtiefe bei Nadelpenetration |
| Rho_Bindemittel | Rohdichte des Bindemittels |

Tabelle A.3-5: PSET Zement_Erstprüfung / Massnahmenplanung

| Name | Beschreibung |
|----------------|------------------------|
| Fck_2d | 2-Tage-Druckfestigkeit |
| Na_Anteil | Alkaligehalt |
| T_Erstarr | Erstarrzeit |
| CEM_Klasse | Festigkeitsklasse |
| S-Anteil | Hüttensandgehalt |
| Malfeinheit | – |
| Wasseranspruch | – |
| CEM-Benennung | Zementart |

Tabelle A.3-6: PSET Mischgut_Asphalt_Erstprüfung / Massnahmenplanung

| Name | Beschreibung |
|--------------------------------|---|
| Art der Zusaetze | – |
| Art und Anteil Asphaltgranulat | – |
| B | Bindemittelgehalt |
| ET_Dyn | Dynamische Eindringtiefe |
| Adhaesionsvermoegen | – |
| Hersteller_Gesteinskoernung | – |
| Hersteller_Mischgut | – |
| HA_MPK | Hohlraumgehalt am Marshall-Probekörper (MPK) |
| Menge der Zusaetze | – |
| Mischgutart | – |
| Rho_A_MPK | Rohdichte der Asphaltmischung am Marshall-Probekörper (MPK) |
| ET_stat | statische Eindringtiefe |
| RD_Luft | Spurrinnentiefe |
| Rho_R_bit | Rohdichte der Asphaltmischung |

Tabelle A.3-7: PSET Mischgut_Asphalt_Kontrollprüfung

| Name | Beschreibung |
|------------------|--------------|
| Art der Zusaetze | – |



| | |
|--------------------------------|---|
| Art und Anteil Asphaltgranulat | – |
| B | Bindemittelgehalt |
| ET_Dyn | Dynamische Eindringtiefe |
| Adhaesionsvermoegen | – |
| Hersteller_Gesteinskoernung | – |
| Hersteller_Mischgut | – |
| HA_MPK | Hohlraumgehalt am Marshall-Probekörper (MPK) |
| Menge der Zusaetze | – |
| Mischgutart | – |
| Rho_A_MPK | Rohdichte der Asphaltmischung am Marshall-Probekörper (MPK) |
| ET_stat | statische Eindringtiefe |
| RD_Luft | Spurrinnentiefe |
| Rho_R_bit | Rohdichte der Asphaltmischung |

Tabelle A.3-8: PSET Mischgut_Beton_Erstprüfung / Massnahmenplanung

| Name | Beschreibung |
|---------------------------|---------------------------|
| Biegezugfestigkeitsklasse | – |
| CEM_Klasse | Festigkeitsklasse |
| Expositionsklasse | – |
| Feuchtigkeitsklasse | – |
| Konsistenzbereich | – |
| Luftporengehalt | – |
| t_misch | Mischzeit |
| Rohdichte Festbeton | – |
| Rohdichte Frischbeton | – |
| fct_Klasse | Spaltzugfestigkeitsklasse |
| w_z_Wert_Frischbeton | w/z-Wert Frischbeton |
| Wassergehalt | – |
| Zementgehalt | – |

Tabelle A.3-9: PSET Mischgut_Beton_Kontrollprüfung

| Name | Beschreibung |
|---------------------------|-------------------|
| Biegezugfestigkeitsklasse | – |
| CEM_Klasse | Festigkeitsklasse |
| Expositionsklasse | – |
| Feuchtigkeitsklasse | – |
| Konsistenzbereich | – |
| Luftporengehalt | – |
| Nachbehandlung | – |
| Rohdichte Frischbeton | – |
| Zementgehalt | – |
| Zusatzstoff | – |
| w_z_Wert | w/z-Wert |

Tabelle A.3-10: PSET Asphaltdeckschicht_Kontrollprüfung / Massnahmenplanung

| Name | Beschreibung |
|------------------------|-----------------------------|
| Ebenheit | Gemessen mit 4-m-Richtlatte |
| v_mess | Messgeschwindigkeit |
| μSKM | Griffigkeit_Reibwert |
| Hbit_BK | Hohlraumgehalt am Bohrkern |
| MPD | Mean Profile Depth |
| Profilgerechte Lage | – |
| Rollgeraeuschpegel | – |
| Scherkraft | Schichtenverbund |
| k | Verdichtungsgrad |
| Verkehrsfreigabe | – |
| Wasserdurchlaessigkeit | – |

Tabelle A.3-11: PSET Betondeckschicht_Kontrollprüfung / Massnahmenplanung

| Name | Beschreibung |
|--|-----------------------|
| Abstand der aeußeren Dübel vom Plattenrand | – |
| Abstand der aeußeren Dübel von der Längsfuge | – |
| Anzahl Anker | – |
| Anzahl Betonlagen einer Schicht | – |
| Anzahl Duebel | – |
| Betonueberdeckung obere Bewehrungslage | – |
| Betonueberdeckung untere Bewehrungslage | – |
| Duebel_Abweichung Höhenlage | – |
| Duebel_Abweichung Schraeglage | – |
| Duebel_Abweichung senkrecht zur Fuge | – |
| Duebel-Ausziehfestigkeit | – |
| Duebeltyp | – |
| Ebenheit | – |
| Fugen-/Kerbabstand in Laengsrichtung | – |
| Fugen-/Kerbabstand in Querrichtung | – |
| Fugenbreite | – |
| Fugenmaterial | – |
| Fugentiefe | – |
| Fugentyp | – |
| v_mess | Messgeschwindigkeit |
| μSKM | Griffigkeits-Reibwert |
| Lage | – |
| Lage und Ueberlappung von Vliesstoff | – |
| Nachbehandlung | – |
| MPD | Mean Profile Depth |
| Profilgerechte Lage | – |
| Rollgeraeuschpegel | – |
| Sporn | – |
| Verkehrsfreigabe | – |
| Verstaerkte Platte | – |
| Waschbetonstruktur | – |
| Wasserdurchlaessigkeit | – |
| Zusatzbewehrung | – |

Tabelle A.3-12: PSET Asphaltbinderschicht_Kontrollprüfung / Massnahmenplanung

| Name | Beschreibung |
|---------------------|------------------|
| Ebenheit | – |
| Profilgerechte Lage | – |
| Scherkraft | Schichtenverbund |
| k | Verdichtungsgrad |

Tabelle A.3-13: PSET Tragschicht_gebunden_Kontrollprüfung / Massnahmenplanung

| Name | Beschreibung |
|---------------------|------------------|
| Ebenheit | – |
| Profilgerechte Lage | – |
| Scherkraft | Schichtenverbund |
| k | Verdichtungsgrad |
| Ev2 | Verformungsmodul |
| Vliesstoff | – |

Tabelle A.3-14: PSET Tragschicht_ungebunden_Kontrollprüfung / Massnahmenplanung

| Name | Beschreibung |
|-----------------------------|------------------|
| Bodenklasse | – |
| Ebenheit | – |
| Frostempfindlichkeitsklasse | – |
| rho_Pr | Proctordichte |
| Profilgerechte Lage | – |
| rho_trocken | Trockendichte |
| k | Verdichtungsgrad |
| Ev2 | Verformungsmodul |
| Vliesstoff | – |
| Wasserdurchlaessigkeit | – |

Tabelle A.3-15: PSET Untergrund/Unterbau_Kontrollprüfung / Massnahmenplanung

| Name | Beschreibung |
|-----------------------------|------------------|
| Art und Herkunft des Bodens | – |
| Ebenheit | – |
| rho_Pr | Proctordichte |
| Profilgerechte Lage | – |
| k | Verdichtungsgrad |

Tabelle A.3-16: PSET Einbaubedingungen

| Name | Beschreibung |
|---------------------------|--------------|
| Einbautemperatur Mischgut | – |



| | |
|------------------------|---|
| Einbautemperatur Luft | – |
| Witterungsverhältnisse | – |
| Sonstiges | – |

b) Merkmalsgruppe der Maßnahmenplanung

Tabelle A.3-17: PSET Massnahmenplanung

| Name | Beschreibung |
|---------------|--|
| Massnahmenart | Enthält Informationen zu Art der geplanten Massnahme (Instandsetzung / Erneuerung usw.) |
| Zeitpunkt | voraussichtlicher Zeitpunkt der Durchführung der Massnahme. |
| Kosten | voraussichtliche Kosten der Massnahme. |
| Erläuterungen | ggf. Erläuterung zur Ursache der Massnahme (z. B. Erläuterung des Schadensbilds vor Durchführung der Massnahme). |

c) Merkmalsgruppen der Zustandserfassung und -bewertung

Tabelle A.3-18: PSET ZEB-Kampagne

| Name | Beschreibung |
|-----------------|--|
| Bezeichnung | Enthält Informationen zu Ort und Zeitpunkt der Erfassungskampagne. |
| Kurzbezeichnung | |
| Umfang | Region, Anzahl an Kilometern etc. |

Tabelle A.3-19: PSET ZEB-Teilprojekt

| Name | Beschreibung |
|-----------------------|--|
| TP_Bezeichnung | Enthält Informationen zum durchgeführten Teilprojekt der ZEB (TP 1 bis 3). |
| TP_Kurzbezeichnung | |
| TP_Erfasser | |
| TP_Hauptmessverfahren | |

Tabelle A.3-20: PSET Zustandsgrößen Asphalt

| Name | Beschreibung |
|------------------------------|---|
| Allgemeine_Unebenheiten_AUN | Unebenheitsmaß bei einer bestimmten Wellenlänge, in cm ³ |
| Laengsebenheitswirkindex_LWI | Aus dem Höhenlängsprofil abgeleitete Wirkgröße, die die Auswirkungen der Unebenheiten auf Fahrer, Ladung und Fahrbahn beschreibt. |



| | |
|---------------------------------------|---|
| Bewertetes_Laengsprofil_BLP | Modifiziertes Höhenlängsprofil, das durch Filterung und Gewichtung die Längsunebenheit charakterisiert. |
| International_Roughness_Index_IRI | Internationales Maß für die Längsebenheit, in m/km. |
| Standardabweichung_der_Winkelwerte_Sw | Maß der Längsebenheit in der Schweiz, in ‰ |
| Mittlere_Spurrinnentiefe_MSPT | Maximum aus den Mittelwerten der rechten und linken Spurrinnentiefe, in mm. |
| Ebenheit in Querrichtung_T | Maß der Querebenheit in der Schweiz, in mm |
| Fiktive_Wassertiefe_MSPH | Maximum aus den Mittelwerten der rechten und linken fiktiven Wassertiefe, in mm. |
| Griffigkeit_GRI | Reibungskoeffizient (temperatur- und geschwindigkeitskorrigiert auf 40, 60 oder 80 km/h, Mittelwert), gemessen mit dem SKM |
| Griffigkeit_RS | Reibungskoeffizient (temperatur- und geschwindigkeitskorrigiert auf 40, 60 oder 80 km/h, Mittelwert), gemessen mit dem RS |
| Risse_RISS | Netzrisse, Risshäufungen und Einzelrisse prozentualer Anteil der betroffenen Fläche, in %. |
| Offene_Arbeitsnaht_ONA | Summe der betroffenen Rasterfelder mit Arbeitsnähten, die fein bis klaffend aufgebrochen bzw. nicht vergossen sind, in m. |
| Flickstellen_FLI | Örtlich begrenzter Bereich einer geschädigten Verkehrsfläche, die durch Ausbessern wiederhergestellt wurde, in %. |
| Eingelegt_Flickstellen_EFLI | Betroffener Flächenanteil durch Eingelegte Flickstellen, in %. |
| Aufgelegte_Flickstellen_AUFLI | Zustandsindikator des Zustandsmerkmals Flickstellen der Merkmalsgruppe Substanzmerkmale (Oberfläche) von Asphaltfahrbahnen: Maß für den Prozentanteil an aufgelegten Flickstellen im Auswerteabschnitt, in %. |
| Ausbrueche_AUS | Betroffener Flächenanteil durch Herauslösen von Teilen der Fahrbahnoberfläche, in %. |
| Bindemittelanreicherung_BIN | Betroffener Flächenanteil durch Austreten von bituminösen Bindemittel an der Fahrbahnoberfläche, in %. |
| RestschadensflaecheAsphalt_RSFA | Schadensfläche ohne Risse, prozentualer Anteil der betroffenen Fläche, in %. |
| Oberflaechenglaette | Matrixwert fuer Oberflaechenglaette aus Aussmass und Schwere |
| Belagsschaeden | Matrixwert fuer Belagsschaeden aus Aussmass und Schwere |
| Belagsverformungen | Matrixwert fuer Belagsverformungen aus Aussmass und Schwere |
| Strukturelle Schaeden | Matrixwert fuer strukturelle Schaeden aus Aussmass und Schwere |
| Flicke | Matrixwert fuer Flicke aus Aussmass und Schwere |
| Oberflaechenschaeden_OS | Prozentwert der geschädigten Fläche |
| Risse_RI | Prozentwert der geschädigten Fläche |
| Tragfaehigkeit_TRAG_Benk | Deflektionsmessung mit dem Benkelmanbalken, in mm/100 |
| Tragfaehigkeit_TRAG_TSD | Deflektionsmessung mit dem Traffic-Speed-Deflectometer |
| Tragfaehigkeit_TRAG_FWD | Deflektionsmessung mit dem Falling-Weight-Deflectometer |
| Makrotextur_MPD | Mittlere Profiltiefe, in mm. |
| Schalldruckpegel_Lp | Akustische Eigenschaft |
| Leuchtdichte_Lv | Helligkeit / Reflexion |

Tabelle A.3-21: PSET Zustandsgrößen Beton

| Name | Beschreibung |
|------|--------------|
|------|--------------|



| | |
|---------------------------------------|---|
| Allgemeine_Unebenheiten_AUN | Unebenheitsmaß bei einer bestimmten Wellenlänge, in cm ³ |
| Laengsebenheitswirkindex_LWI | Aus dem Höhenlängsprofil abgeleitete Wirkgröße, die die Auswirkungen der Unebenheiten auf Fahrer, Ladung und Fahrbahn beschreibt. |
| Bewertetes_Laengsprofil_BLP | Modifiziertes Höhenlängsprofil, das durch Filterung und Gewichtung die Längsunebenheit charakterisiert. |
| International_Roughness_Index_IRI | Internationales Maß für die Längsebenheit, in m/km. |
| Standardabweichung_der_Winkelwerte_Sw | Maß der Längsebenheit in der Schweiz. |
| Mittlere_Spurrinnentiefe_MSPT | Maximum aus den Mittelwerten der rechten und linken Spurrinnentiefe, in mm. |
| Ebenheit in Querrichtung_T | Maß der Querebenheit in der Schweiz, in mm |
| Fiktive_Wassertiefe_MSPH | Maximum aus den Mittelwerten der rechten und linken fiktiven Wassertiefe, in mm. |
| Griffigkeit_GRI | Reibungskoeffizient (temperatur- und geschwindigkeitskorrigiert auf 40, 60 oder 80 km/h, Mittelwert), gemessen mit dem SKM |
| Griffigkeit_RS | Reibungskoeffizient (temperatur- und geschwindigkeitskorrigiert auf 40, 60 oder 80 km/h, Mittelwert), gemessen mit dem RS |
| Laengsrisse_Querrisse_LQRP | Betroffener Plattenanteil durch feine bis klaffende Brüche von Betonplatten, die nicht ausschließlich im unmittelbaren Bereich der Plattenecken oder Plattenränder auftreten, in %. |
| Laengsrisse_Querrisse_LQRL | Längs- und Querrisse, mittlere Risslänge der betroffenen Platten, in m. |
| Eckabbrueche_EABP | Betroffener Plattenanteil durch feine bis klaffende Brüche oder Zerstörungen im Bereich der Ecken von Betonfahrplatten, in %. |
| Eckabbrueche_EABF | Eckabbrüche, mittlere Anzahl pro betroffene Platte, in %. |
| Kantenschaeden_KASP | Betroffener Plattenanteil durch feine bis klaffende Brüche oder Zerstörungen im Bereich der Kanten von Betonfahrplatten, in %. |
| Kantenschaeden_KASL | Kantenschäden, mittlere geschädigte Länge der betroffenen Platten, in %. |
| Nester_Abplatzungen_NTR | Betroffener Plattenanteil durch Herauslösen von Teilen der Fahrbahnoberfläche, in %. |
| RestschadensflaecheBeton_RSFB | Schadensfläche ohne Risse, prozentualer Anteil der betroffenen Fläche, in %. |
| Oberflaechenglaette | Matrixwert fuer Oberflaechenglaette aus Aussmass und Schwere |
| Materialverluste | Matrixwert fuer Materialverluste aus Aussmass und Schwere |
| Fugen- und Kantenschaeden | Matrixwert fuer Fugen- und Kantenschaeden aus Aussmass und Schwere |
| Vertikalverschiebung | Matrixwert fuer Vertikalverschiebungen aus Aussmass und Schwere |
| Risse, Brueche | Matrixwert fuer Risse, Brueche aus Aussmass und Schwere |
| Flicke | Matrixwert fuer Flicke aus Aussmass und Schwere |



| | |
|-------------------------|---|
| Oberflächenschäden_OS | Prozentwert der geschädigten Fläche |
| Risse_RI | Prozentwert der geschädigten Fläche |
| Tragfähigkeit_TRAG_Benk | Deflektionsmessung mit dem Benkelmanbalken, in mm/100 |
| Tragfähigkeit_TRAG_TSD | Deflektionsmessung mit dem Traffic-Speed-Deflectometer |
| Tragfähigkeit_TRAG_FWD | Deflektionsmessung mit dem Falling-Weight-Deflectometer |
| Makrotextur_MPD | Mittlere Profiltiefe, in mm. |
| Schalldruckpegel_LP | Akustische Eigenschaft |
| Leuchtdichte_LV | Helligkeit / Reflexionseigenschaften |

Tabelle A.3-22: PSET Zustandswerte Asphalt

| Name | Beschreibung |
|--|--|
| Zustandswert_Allgemeine_Unebenheiten_ZWAUN | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße AUN in Zustandswert ZWAUN. |
| Zustandswert_Laengsebenheitswirkindex_ZWLWI | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße LWI in Zustandswert ZWLWI. |
| Zustandswert_Bewertetes_Laengsprofil_ZWBLP | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße BLP in Zustandswert ZWBLP. |
| Zustandswert_Mittlere_Spurrinnentiefe_ZWMSPT | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße MSPT in Zustandswert ZWMSPT. |
| Zustandswert_Fiktive_Wassertiefe_ZWMSPH | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße MSPH in Zustandswert ZWSPH. |
| Zustandswert_Griffigkeit_ZWGRI | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße GRI in Zustandswert ZWGRI. |
| Zustandswert_Risse_ZWRISS | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße RISS in Zustandswert ZWRISS. |
| Zustandswert_Offene_Arbeitsnaht_ZWONA | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße ONA in Zustandswert ZWONA. |
| Zustandswert_Flickstellen_ZWFLI | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße FLI in Zustandswert ZWFLI. |
| Zustandswert_Eingelegt_Flickstellen_ZWEFLI | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße EFLI in Zustandswert ZWEFLI. |



| | |
|--|--|
| Zustandswert_Aufgelegte_Flickstellen_ZWAUFLI | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße AUFLI in Zustandswert ZWAUFLI. |
| Zustandswert_Ausbrueche_ZWAUS | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße AUS in Zustandswert ZWAUS. |
| Zustandswert_Bindemittelanreicherung_ZWBIN | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße BIN in Zustandswert ZWBIN. |
| Zustandswert_RestschadensflaecheAsphalt_ZWRSFA | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße RSFA in Zustandswert ZWRSFA. |
| Index_Oberflaechenschaeden_I0 | Mit Hilfe von Gewichtung u. Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Schadensmerkmale in Index I0. |
| Index_Oberflaechenschaeden_I1 | Mit Hilfe von Gewichtung u. Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Schadensmerkmale in Index I1. |
| Index_Ebenheit in Laengsrichtung_I2 | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße sW in Index I2. |
| Index_Ebenheit in Querrichtung_I3 | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße T in Index I3. |
| Index_Griffigkeit_I4 | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße μ in Index I4. |
| Index_Tragfaehigkeit_I5 | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße Deflektion Benekelman in Index I5. |
| Zustandswert_Oberflaechenschaeden | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße Oberflaechenschaeden in Zustandswert ZWOS. |
| Zustandswert_Risse | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße Risse in Zustandswert ZWRI. |
| Zustandswert_Tragfähigkeit_ZWTRAG_TSD | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße TRAG_TSD in Zustandswert ZWTRAG_TSD. |
| Zustandswert_Tragfähigkeit_ZWTRAG_FWD | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße TRAG_TSD in Zustandswert ZWTRAG_FWD. |

| | |
|------------------------------------|--|
| Zustandswert_Makrotextur_ZWMPD | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße MPD in Zustandswert ZWMPD. |
| Zustandswert_Schalldruckpegel_ZWLP | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße LP in Zustandswert ZWLP. |
| Zustandswert_Leuchtdichte_ZWLV | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße LV in Zustandswert ZWLV. |

Tabelle A.3-23: PSET Zustandswerte Beton

| Name | Beschreibung |
|--|--|
| Zustandswert_Allgemeine_Unebenheiten_ZWAUN | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße AUN in Zustandswert ZWAUN. |
| Zustandswert_Laengsebenheitswirkindex_ZWLWI | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße LWI in Zustandswert ZWLWI. |
| Zustandswert_Bewertetes_Laengsprofil_ZWBLP | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße BLP in Zustandswert ZWBLP. |
| Zustandswert_Mittlere_Spurrinnentiefe_ZWMSPT | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße MSPT in Zustandswert ZWMSPT. |
| Zustandswert_Fiktive_Wassertiefe_ZWMSPH | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße MSPH in Zustandswert ZWMSPH. |
| Zustandswert_Griffigkeit_ZWGRI | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße GRI in Zustandswert ZWGRI. |
| Zustandswert_Laengsrisse_Querrisse_ZWLQRP | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße LQRP in Zustandswert ZWLQRP. |
| Zustandswert_Laengsrisse_Querrisse_ZWLQRL | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße LRQL in Zustandswert ZWLQRL. |
| Zustandswert_Eckabbrueche_ZWEABP | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße EAPBin Zustandswert ZWEABP. |

| | |
|--|--|
| Zustandswert_Eckabbrueche_ZWEABF | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße EABF in Zustandswert ZWEABF. |
| Zustandswert_Kantenschaeden_ZWKASP | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße KASP in Zustandswert ZWKASP. |
| Zustandswert_Kantenschaeden_ZWKASL | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße KASL in Zustandswert ZWKASL. |
| Zustandswert_Nester_Abplatzungen_ZWNTR | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße NTR in Zustandswert ZWNTR. |
| Zustandswert_RestschadensflaecheBeton_ZWRSFB | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße RSFB in Zustandswert ZWRSFB. |
| Index_Oberflaechenschaeden_I0 | Mit Hilfe von Gewichtung u. Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Schadensmerkmale in Index I0. |
| Index_Oberflaechenschaeden_I1 | Mit Hilfe von Gewichtung u. Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Schadensmerkmale in Index I1. |
| Index_Ebenheit in Laengsrichtung_I2 | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße sW in Index I2. |
| Index_Ebenheit in Querrichtung_I3 | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße T in Index I3. |
| Index_Griffigkeit_I4 | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße μ in Index I4. |
| Index_Tragfaehigkeit_I5 | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße Deflektion Benekelman in Index I5. |
| Zustandswert_Oberflaechenschaeden | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße Oberflaechenschaeden in Zustandswert ZWOS. |
| Zustandswert_Risse | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße Risse in Zustandswert ZWRI. |

| | |
|---------------------------------------|--|
| Zustandswert_Tragfähigkeit_ZWTRAG_TSD | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße TRAG_TSD in Zustandswert ZWTRAG_TSD. |
| Zustandswert_Tragfähigkeit_ZWTRAG_FWD | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße TRAG_TSD in Zustandswert ZWTRAG_FWD. |
| Zustandswert_Makrotextur_ZWMPD | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße MPD in Zustandswert ZWMPD. |
| Zustandswert_Schalldruckpegel_ZWLP | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße LP in Zustandswert ZWLP. |
| Zustandswert_Leuchtdichte_ZWLV | Mit Hilfe von Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,00 (sehr gut) bis 5,00 (sehr schlecht) überführte Zustandsgröße LV in Zustandswert ZWLV. |

Tabelle A.3-24: PSET Teil- und Gesamtwerte sowie Indizes

| Name | Beschreibung |
|--|--|
| Teilzielwert_Gebrauch_TWGEb | Teilwert für das Erhaltungsziel Gebrauch (Sicherheit und Befahrbarkeit), der durch Verknüpfung entsprechender Zustandswerte gebildet wird. (TWGEb) |
| Teilzielwert_Substanz_TWSUB | Teilwert für das Erhaltungsziel Substanzerhalt, der durch Verknüpfung entsprechender Zustandswerte gebildet wird. (TWSUB) |
| Gesamtwert_GW | Das Maximum der beiden Teilwerte „Gebrauchswert“ und „Substanzwert (Oberfläche)“. (GW) |
| Gebrauchsindex_Sicherheit_GWSicherheit | Gebrauchsindex für das Erhaltungsziel Sicherheit (GWSicherheit) |
| Gebrauchsindex_Komfort_GWKomfort | Gebrauchsindex für das Erhaltungsziel Komfort (GWKomfort) |
| Substanzindex_Decke_SIDecke | Substanzindex für das Erhaltungsziel Decke (SIDecke) |
| Substanzindex_Tragf_SITragf | Substanzindex für das Erhaltungsziel Tragfähigkeit (SITragf) |
| Gebrauchswert_GI | Teilwert für das Erhaltungsziel Gebrauch (GI) |
| Substanzwert_SI | Teilwert für das Erhaltungsziel Substanz (SI) |
| Gesamtwert_GW | Das Maximum der beiden Teilwerte „Gebrauch“ und „Substanz“. (GW) |
| Index_GI1 | Gesamtbeurteilung des Oberflächenzustandes (Substanz der Beläge) aus I0, I2, I3 |
| Index_GI2 | Gesamtbeurteilung des Oberflächenzustandes (Substanz der Beläge) aus I1, I2 |
| Index_GI3 | Gesamtbeurteilung Oberflächenzustand mit Griffigkeit (Verkehrssicherheit) aus I0, I3, I4 |

| | |
|-----------|--|
| Index_GI4 | Gesamtbeurteilung Oberflächenzustand mit Griffigkeit (Verkehrssicherheit) aus I1, I4 |
| Index_GI5 | Gesamtbeurteilung Oberflächenzustand mit Tragfähigkeit (Substanz Oberbau) aus I0, I2, I3, I5 |
| Index_GI5 | Gesamtbeurteilung Oberflächenzustand mit Tragfähigkeit (Substanz Oberbau) aus I1, I2, I5 |

A.4. Verhaltensorientierte Prüfverfahren

Im Folgenden sind die in diesem Projekt berücksichtigten verhaltensorientierten Prüfverfahren an Asphalt und Bindemittel dargestellt.

a) Prüfverfahren zur Ermittlung des Ermüdungs- und Steifigkeitsverhaltens

Tabelle A.4-1: Prüfverfahren zur Ermittlung des Ermüdungsverhaltens

| Ermüdung | 4-Punkt-Biege-Ermüdungsprüfung | EN 12697-24 | nicht vorgesehen | ÖNORM EN 12697-24 | VSS EN 12697-24, Anhang D | Dehnung, die einer Dauerhaltbarkeit von 10 ⁶ Zyklen entspricht | ϵ_s | $\mu m/m$ |
|----------|--------------------------------|-------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|---|---------------------|-----------|
| | | | | | | Parameter A ₀ der Ermüdungskurve | A ₀ | - |
| | | | | | | Parameter A ₁ der Ermüdungskurve | A ₁ | - |
| | Spaltzug-Schwellversuch | EN 12697-24 | TP Asphalt-SIB Teil 24 | ÖNORM EN 12697-24 | VSS EN 12697-24 | Lastwechselzahl bis zum Versagen | N _{last} | - |
| | | | | | | materialspezifischer Parameter d. Ermüdungsfunktion | C ₁ | - |
| | | | | | | materialspezifischer Parameter d. Ermüdungsfunktion | C ₂ | - |
| | | | | | | Jeweils beim 100. Lastwechsel gemessene elastische Anfangsdehnung | $\epsilon_{el,anf}$ | $\mu m/m$ |
| | | | | | | Steifigkeitsmodul nach dem 100. Lastwechsel | E ₁₀₀ | MPa |

Tabelle A.4-2: Prüfverfahren zur Ermittlung des Steifigkeitsverhaltens

| Steifigkeit | Spaltzug-Schwellversuch | EN 12697-26 | TP Asphalt-SIB Teil 26 | ÖNORM EN 12697-26 | VSS EN 12697-26 | Prüftemperatur | T | °C |
|-------------|-------------------------|-------------|---------------------------|----------------------|-----------------|---|-----------------|-----------|
| | | | | | | Elastische Dehnung | ϵ_{el} | MPa |
| | | | | | | Steifigkeitsmodul | E' | MPa |
| | 4-Punkt-Biegezugversuch | EN 12697-26 | nicht vorgesehen | ÖNORM EN 12697-26 | VSS EN 12697-26 | Dehnung, die einer Dauerhaltbarkeit von 10 ⁶ Zyklen entspricht | ϵ_s | $\mu m/m$ |
| | | | | | | Parameter A ₀ der Ermüdungskurve | A ₀ | - |
| | | | | | | Parameter A ₁ der Ermüdungskurve | A ₁ | - |

b) Prüfverfahren zur Ermittlung des Verformungsverhaltens



Tabelle A.4-3: Prüfverfahren zur Ermittlung des Verformungsverhaltens

| | | | | | | | | |
|------------|---|-------------|---|----------------------|---------------------------------|--|----------------------|------------------------|
| Verformung | Spurbildungsversuch | EN 12697-22 | TP Asphalt-SIB Teil 22 | ÖNORM EN 12697-22 | VSS EN 12697-22 / SN 670 422 | absolute Spürnintiefe | RD _{un} | mm |
| | | | | | | auf die Dicke der Asphalt-Probeplatte bezogene, proportionale | PRD _{un} | mm |
| | Einaxialer Druck-Schwell-Versuch | | TP Asphalt-SIB Teil 25 B1 | ? | - | Dehnungsrate im Wendepunkt | ϵ_w^* | $\% \cdot 10^{-4} / n$ |
| | | | | | | Dehnung im Wendepunkt | ϵ_w | mm |
| | | | | | | Anzahl der erfolgten Belastungszyklen bis zum Wendepunkt | n | - |
| | Triaxialer Druck-Schwell-Versuch | EN 12697-25 | TP Asphalt-SIB Teil 25 B2 (in Vorbereitung) | ÖNORM EN 12697-25 | VSS EN 12697-25 | Abbruchkriterium (n=10.000 oder Dehnung = 40‰) | n oder ϵ | - oder ‰ |
| | | | | | | Kriechrate | f_{ϵ} | $\mu m / m / n$ |
| | | | | | | Gesamtaxialverformung | ϵ_{∞} | % |
| | Dynamischer Stempleindringversuch (Walz- und Gußasphalt) | | TP Asphalt-SIB, Teil 25 A 1 + 2 | ? | VSS EN 12697-25 / SN 640 441 | Regressionsparameter 1 | A | - |
| | | | | | | Regressionsparameter 2 | B | - |
| | | | | | | Dehnungsrate (Kriechrate) | $f_{\epsilon, Ende}$ | % |
| | | | | | | plastische Druckdehnung | ϵ_{∞} | % |
| | | | | | | plastische Druckdehnung im Wendepunkt | $\epsilon_{pd, w}$ | % |
| | | | | | | Anzahl der erfolgten Belastungszyklen bis zum Wendepunkt | n _w | - |
| | | | | | | Dehnungsrate im Wendepunkt | $f_{\epsilon, w}$ | % |

c) Prüfverfahren zur Ermittlung des Kälteverhaltens

Tabelle A.4-4: Prüfverfahren zur Ermittlung des Kälteverhaltens

| | | | | | | | | |
|----------------|-------------------------------|-------------|--|----------------------|-----------------|-------------------------------|----------------------|-----|
| Kälteverhalten | Abkühlversuch | EN 12697-46 | TP Asphalt-StB Teil 46 A | ÖNORM B 3590 | VSS EN 12697-46 | Bruchtemperatur | T _c | °C |
| | | | | | | Bruchspannung | σ _c | MPa |
| | | | | | | Kryogener Zugspannungsverlauf | σ _{kry} (T) | MPa |
| | Einaxialer Zugversuch | | TP Asphalt-StB Teil 46 A | ÖNORM EN 12697-46 | VSS EN 12697-46 | Prüftemperatur | T | °C |
| | | | | | | Ausfalldehnung | ε _{Ausfall} | mm |
| | | | | | | Zugfestigkeit | β _t | MPa |
| | Einaxialer Zug-Schwellversuch | | TP Asphalt-StB Teil 46 B (in Vorbereitung) | ÖNORM EN 12697-46 | VSS EN 12697-46 | Steifigkeitsmodul | E' ₁₀₀ | MPa |
| | | | | | | Bruchlastwechselzahl | N _{Br} | - |

d) Prüfverfahren zur Charakterisierung des Bindemittels

Tabelle A.4-5: Verhaltensorientierte Prüfverfahren für Bindemittel

| Versuch | Regelwerk D | Regelwerk A | Regelwerk CH | Ergebnis-Kenngröße | Parameter | Einheit |
|--|----------------------------|-------------------|--------------|------------------------------|-------------------|---------|
| Biegebalkenrheometer (BBR) – EN 14771 | DIN EN 14771 | ÖNORM EN 14771 | SN 670 560 | Biegekriechsteifigkeit | S _m | MPa |
| | | | | m-Wert | m | - |
| Kraftduktilität | DIN EN 13589/13703 | ÖNORM EN 13589 | prEN 13589 | Formänderungsenergie | E | J |
| | | | | Kohäsionsenergie | E* | J |
| | | | | Zugkraft | F | N |
| Dynamisches Scherrheometer (DSR) – EN 14770 | DIN EN 14770 | ÖNORM EN 14770 | SN 670 559 | komplexer Schubmodul | G* | |
| | | | | Phasenwinkel | δ_{BTSV} | ° |
| Bitumen-Typisierungs-Schnellverfahren (BTSV) | AL DSR- Prüfung (BTSV) | - | - | Äqui-Scherm modul-Temperatur | T _{BTSV} | °C |
| | | | | Phasenwinkel | δ_{BTSV} | ° |
| Multiple Stress Creep and Recovery Test (MSCR) – EN 16659 | AL DSR- Prüfung (MSCRT) | ÖNORM EN 16659 | SN 670 561 | Rückformung | R | % |
| | | | | Nachgiebigkeit | J _{nr} | |